

1- RAPPORT DE STAGE

DAGNEAUX Daphney

Dans le cadre du stage de **2^{ème} année** :

Option stage court ☐

Option stage long : séquence unique : ☐ 1^{ère} séquence ☐ 2^{ème} séquence ☒

Stage effectué du 01 / 02 / 2009 au 31 / 07 / 2009

À :

CIRAD Martinique,
Pôle de recherche Agronomique de Martinique (PRAM).
Quartier Petit Morne - BP 214 - 97285 Le Lamentin Cédex 2,
Martinique - FRANCE

Sur le thème :

EFFET DE L'AGE DES BANANERAIES
SUR LE RESEAU TROPHIQUE DU CHARANÇON (*COSMOPOLITES SORDIDUS*),
EVALUATION DE SON POTENTIEL DE REGULATION PAR APPROCHE ISOTOPIQUE

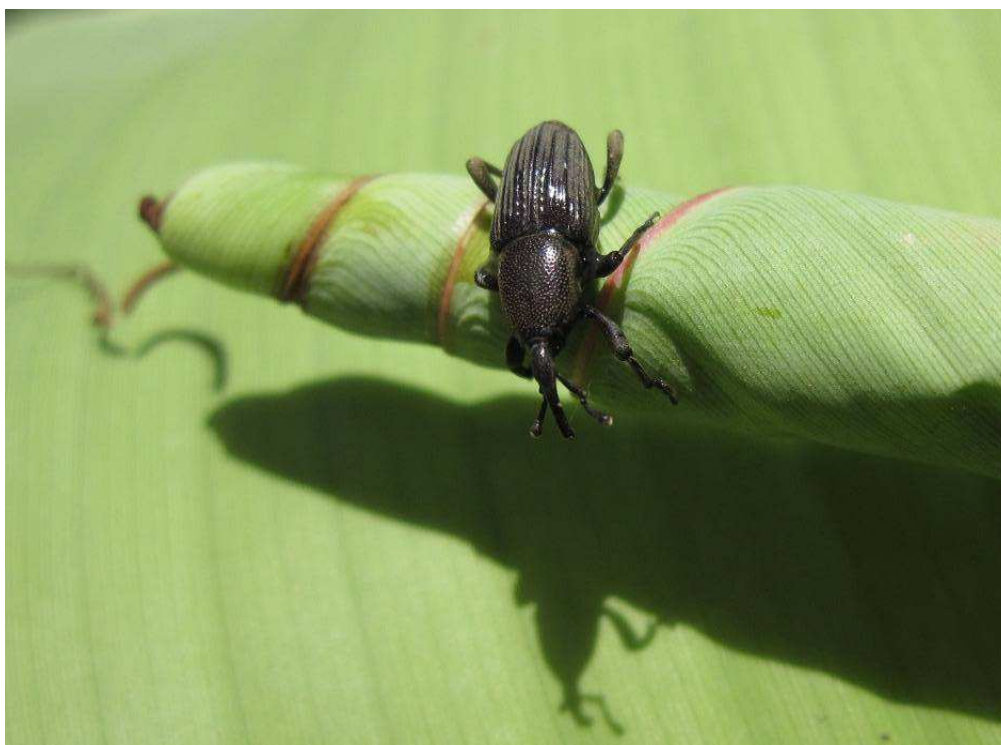
Pour l'obtention du :

DIPLÔME D'AGRONOMIE GENERALE

Enseignant responsable : Jean ROGER- ESTRADÉ

Maître de stage : Philippe TIXIER

**EFFET DE L'ÂGE DES BANANERAIES SUR LE RESEAU TROPHIQUE DU
CHARANÇON (*COSMOPOLITES SORDIDUS*), EVALUATION DE SON
POTENTIEL DE REGULATION PAR APPROCHE ISOTOPIQUE**



**STRUCTURE D'ACCUEIL : CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONAL EN RECHERCHE
AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT (CIRAD), MARTINIQUE.**

MAITRE DE STAGE : PHILIPPE TIXIER,

TUTEUR DE STAGE : JEAN ROGER-ESTRADE,

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
I- SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	1
A- La culture du bananier	1
1 - Description du bananier <i>Musa sp.</i>	1
2 - Culture du bananier.....	2
3 - Bioagresseurs du bananier.....	2
B- Le charançon du bananier, <i>Cosmopolites sordidus</i> (Germar)	2
1 - Origine du charançon.....	2
2 - Biologie et cycle de vie de <i>Cosmopolites sordidus</i>	2
C- L'infestation du bananier par <i>Cosmopolites sordidus</i>	4
D- Etude des réseaux trophiques par analyses isotopiques	5
1 - Généralités concernant les isotopes.....	5
2 - Transmission des isotopes dans les réseaux trophiques.....	5
II- MATERIEL ET METHODES.....	6
A- Site d'expérimentation et dispositif expérimental	6
B- Echantillonnage	7
1 - Piégeage des prédateurs potentiels de <i>Cosmopolites sordidus</i>	7
2 - Test de la répétabilité des mesures isotopiques.....	8
3 - Evaluation des populations de <i>Cosmopolites sordidus</i>	8
III - RESULTATS.....	8
A- Etude de la différence entre les pièges avec larves (L) et les pièges témoins (T)	8
B- Etude des abondances des taxa dans les parcelles	10
1 - Données générales sur les abondances des taxa.....	10
2 - Evolution de l'abondance de chacun des taxa principaux en fonction de l'âge des parcelles.....	11
a) <i>Prédateurs</i>	12
b) <i>Non prédateurs</i>	13
c) <i>Cosmopolites sordidus</i>	14
C- Etude des résultats d'analyses de rapports isotopiques	15
1 - Résultats généraux.....	15
2 - Evolution du $\delta^{15}\text{N}$ en fonction du nombre de charançons, pour certains taxa.....	17
3 - Etude de l'évolution des ratios de $\delta^{15}\text{N}$ entre certaines catégories de taxa, selon l'âge des parcelles.....	17
IV- DISCUSSION.....	19
A- Effet de l'âge des parcelles sur les abondances des taxa	19
B- Caractérisation du réseau trophique par analyse isotopique	19
C- Potentiel de régulation de <i>Cosmopolites sordidus</i>	20
D- Effet de l'âge des parcelles sur les signatures isotopiques des taxa	21
E- Perspectives et améliorations	21
CONCLUSION.....	22
REMERCIEMENTS.....	23
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	23
ANNEXES.....	26

INTRODUCTION

Seize millions de tonnes de bananes desserts sont exportées chaque année, représentant ainsi une part importante des productions agricoles des pays tropicaux. Cette production repose encore largement sur la pratique de monocultures intensives pérennisées par l'utilisation de volumes importants d'intrants et par la sélection de cultivars à haute productivité mais souvent sensibles à différents bioagresseurs. La compréhension des processus écologiques de la régulation des bioagresseurs est un enjeu majeur pour élaborer des systèmes de cultures économes en intrants (intrants chimiques, énergie) et moins générateurs d'effets négatifs pour l'environnement. Les différentes espèces des réseaux trophiques des agroécosystèmes, et en particulier les prédateurs généralistes, peuvent jouer un rôle important pour le contrôle des ravageurs (Carter & Rypstra, 1995; Cardinale et al., 2003; Costamagna et al., 2007). Le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) est le principal ravageur des bananeraies dans la plupart des régions de production (Gold et al., 2001). Il est à l'origine de pertes de rendement importantes, notamment en Martinique, où l'économie agricole repose en grande partie sur la filière banane, dont la durabilité est menacée par des contraintes socio-économiques et environnementales.

Cette étude a pour objectif de mieux comprendre la formation des réseaux trophiques des bananeraies et l'évolution du potentiel de régulation du charançon du bananier par les prédateurs généralistes au cours du temps.

Parmi les modifications relatives à la structure des réseaux trophiques, les liens qui concernent la régulation du charançon sont particulièrement importants pour la durabilité des systèmes de cultures bananiers. Répondre à ces questions permettrait d'évaluer les potentialités de régulation des populations de ce bioagresseur, par l'instauration de nouveaux équilibres entre communautés.

Une présentation plus détaillée du contexte de l'étude et des principales définitions nécessaires à la compréhension du sujet est faite dans une première partie de synthèse bibliographique. Dans une deuxième partie, les méthodes utilisées pour réaliser cette étude sont décrites. Enfin, les résultats sont présentés, puis discutés, dans une troisième et une quatrième partie.

I- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

A- La culture du bananier

1 - Description du bananier *Musa sp*

Les bananiers appartiennent à l'ordre des Scitaminales (ou Zingibérales). Ceux sont des Monocotylédones à fleurs asymétriques zygomorphes, appartenant à la famille des Musaceae (Lassoudière, 2007). Le groupe triploïde AAA représente la quasi-totalité des cultivars à fruits destinés à l'exportation, dont le cultivar Cavendish, comprenant le cultivar moyen Grande Naine, cultivar étudié par la suite.

Le bananier est une herbe géante sans tige végétative aérienne. La tige souterraine (corme ou bulbe) est le lieu de formation des racines, des feuilles et de l'inflorescence. C'est à ce niveau que se

différencient également les rejets, qui s'enracinent et se développent à leur tour. Le système racinaire est fasciculé et l'émission de racines se fait durant toute la phase végétative. Le pseudotrunc, ou faux tronc, résulte de l'imbrication des gaines foliaires les unes dans les autres. Le « cigare foliaire » monte au centre, comme, par la suite, l'inflorescence. Les fleurs sont toujours du même type, mais la conformation des inflorescences est très variable (Lassoudière, 2007).

2 - Culture du bananier

La banane est traditionnellement une monoculture monovariétale (*Musa* spp., AAA, sous-groupe Cavendish cv. Grande-Naine) (Ganry, 2004). La production est le plus souvent intensive, mais certains systèmes monoculturaux intensifs s'orientent vers la rotation culturale et la jachère entretenue ou cultivée. La récolte des bananes s'effectue toute l'année. Les cycles de production varient entre huit et onze mois en Martinique, selon l'altitude et le degré de pluviosité. Une parcelle est replantée après 4 à 6 cycles de production (Lassoudière, 2007).

3 - Bioagresseurs du bananier

La forte pression parasitaire sur le bananier est due à trois ravageurs majeurs : *Mycosphaerella musicola*, agent fongique responsable de la maladie de Sigatoka (ou cercosporiose jaune) ; *Radopholus similis*, nématode, agent causal de nécroses racinaires et bulbaires, pouvant être associé à d'autres espèces de nématodes et parasites telluriques ; et le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), insecte « foreur », dont la larve cause des dégâts importants sur les bulbes des bananiers, entraînant la chute de ces derniers (Ganry, 2004).

B- Le charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus* (Germar)

1 - Origine du charançon

Le charançon du bananier, *C. sordidus* (Germar, 1824) (*Coleoptera* : *Curculionidae*) est originaire du Sud-est asiatique et a progressivement envahi les plantations des différentes contrées tropicales. L'aire d'origine de *C. sordidus* est similaire à celle du bananier (Stover & Simmonds, 1987). Sa présence a été notée dans les Antilles Françaises dès 1929 (Hustache, 1929).

2 - Biologie et cycle de vie de *Cosmopolites sordidus*

C. sordidus est l'un des principaux ravageurs des souches sauvages et cultivées du genre *Musa* (banane, plantain, abaca) (Gold *et al.*, 2001). Son cycle biologique est présenté ci-contre. (Gold *et al.*, 2001)

L'adulte mesure de 9 à 16 mm de long. Sa cuticule est très dure, de couleur noire et son rostre est allongé. L'insecte présente un phototropisme négatif, un hygrotropisme positif, un instinct grégaire, une attitude feinte de mort (Delattre, 1980; Treverrow, 1993), et est très résistant au jeûne. Sa durée de vie est normalement d'un an, mais peut s'étendre jusqu'à quatre ans.



Figure 1 : *C. sordidus*, principal ravageur des plants de bananiers ; individu adulte.

La dispersion de l'insecte se fait principalement par la marche, et semble limitée et lente. La question du vol est sujette à diverses interprétations selon les auteurs. Bien que l'adulte dispose d'ailes fonctionnelles, il n'a quasiment jamais été observé en vol (Gold *et al.*, 2001). Les mâles produisent une phéromone d'agrégation (sordidine) lorsqu'ils ont été en contact avec du pseudotrunc et probablement après s'en être nourris. Cette phéromone, principalement produite pendant la nuit, attire les individus des deux sexes (Lemaire, 1996).

Le taux de ponte est communément estimé à 1 œuf par semaine et le ratio sexuel est de 1. La femelle dépose ses œufs, blancs et de forme ovale, un à un dans des trous qu'elle creuse à l'aide de son rostre. Elle pond généralement dans les gaines foliaires et à la partie supérieure du bulbe, en choisissant de préférence les plants qui ont atteint le stade de la floraison. La larve mesure 10 à 12 mm de long à la fin de sa croissance. Elle est apode, son corps est faiblement recourbé et d'aspect ventru. Elle est de couleur blanc crème avec une tête volumineuse brun-rouge foncé, armée de fortes mandibules (Treverrow, 1985).



Figure 2 : a) Larve de *C. sordidus*. b) Pupa de *C. sordidus*

La larve creuse des galeries à la périphérie du corme, leur diamètre augmentant progressivement. Les larves passent par 5 à 8 stades larvaires. Le taux de développement dépend de la température. En conditions tropicales, la période séparant la ponte du stade adulte est d'environ 5 à 7 semaines. Les œufs ne se développent pas en dessous de 12°C.

C- L'infestation du bananier par *Cosmopolites sordidus*

L'infestation par des charançons a plusieurs effets sur la plante attaquée. Une telle infestation entrave le transport des éléments nutritifs et de l'eau, et a également pour effet de retarder la croissance et le développement de la plante. En outre, elle rend la plante plus sensible à la verse, même si celle-ci est plus souvent associée aux attaques de nématodes, la conjonction des deux ravageurs décuplant par ailleurs ces dégâts. Cet insecte s'attaque de préférence aux bananiers plantains et aux bananiers adultes.



Figure 3 : Dégâts causés par *C. sordidus* sur un pseudotrunc de bananier.

Les possibilités de lutte sont d'ordre chimique, cultural et biologique. La lutte chimique massive, désormais proscrite puisqu'ayant causé la pollution des eaux et des sols dans les Antilles françaises (cas du chlordécone), il y a actuellement de fortes incitations pour développer la lutte culturale. Cette dernière consiste à supprimer les rejets, à enlever les pseudotruncs infestés, et à réaliser un piégeage des adultes à l'aide de pièges à phéromones (type Pitfall), qui se révèlent assez efficaces. La lutte biologique en est quant à elle à ses débuts. En effet, peu de données sont actuellement disponibles dans ce domaine.

Les ennemis naturels de *C. sordidus* sont les arthropodes, les nématodes entomopathogènes, ainsi que d'autres entomopathogènes, ces prédateurs naturels étant autant de candidats possibles à une lutte biologique pour réduire les populations de *C. sordidus* dans les bananeraies fortement infestées. Les études se mettent actuellement en place afin de tenter de trouver des solutions de lutte biologiques adaptées et efficaces contre ce ravageur à l'origine d'importants dégâts dans les bananeraies.

Plusieurs études ont été menées depuis les années 1980 dans l'objectif de retrouver des prédateurs et les parasites de *C. sordidus* dans son aire d'origine. Ainsi, plusieurs espèces de prédateurs des larves du charançon du bananier furent identifiées (Abera-Kalibata *et al.*, 2006; Greathead, 1986). Aux Antilles, certains des prédateurs et des parasites précédemment cités ont été observés, mais leur impact sur les populations de *C. sordidus* n'a pas encore été évalué. Leur efficacité en tant qu'agents de lutte biologique reste donc à démontrer (Sirjusingh *et al.*, 1992). Des études, réalisées par une équipe de recherche en Uganda, ont mis en évidence le fait que la prédation concerne essentiellement les œufs et les larves de *C. sordidus*. (Koppenhofer *et al.*, 1992).

D- Etude des réseaux trophiques par analyses isotopiques

L'analyse des variations naturelles d'isotopes stables permet la caractérisation de la structure de réseaux trophiques (Ponsard & Arditi, 2000). Ceci est particulièrement adapté dans le cas où les organismes polyphages prédominent, comme c'est le cas dans la litière du sol (Oelbermann & Scheu, 2002).

1 - Généralités concernant les isotopes

Les principaux atomes qui constituent les molécules du vivant sont généralement présents sous forme de plusieurs isotopes, c'est-à-dire comportant le même nombre de protons et d'électrons, mais un nombre différent de neutrons (Remaud, 2004).

Les paramètres servant à décrire et à mesurer les phénomènes de répartition isotopique sont définis comme suit :

- Le rapport isotopique R est égal au quotient du nombre d'isotopes lourds sur le nombre d'isotopes légers d'un élément donné. Ainsi le rapport isotopique du carbone 13 (^{13}C) est défini comme : $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.
- Les proportions isotopiques sont exprimées en unités relatives, δ désignant l'écart entre la teneur de l'échantillon considéré et un standard conventionnel. La déviation isotopique δ est donc définie comme : $\delta = 1000 \cdot (R_{\text{ech}} - R_{\text{ref}}) / R_{\text{ref}}$ (en ‰) où R_{ech} et R_{ref} sont respectivement les rapports isotopiques de l'échantillon à mesurer et de l'échantillon de référence ou standard. Les standards sont le Pee Dee Belemnite (PDB) pour le carbone : $^{13}\text{C}/^{12}\text{C} = 0.0112372$, et l'azote atmosphérique pour l'azote : $^{15}\text{N}/^{14}\text{N} = 0.0036765$ (Anderson & Polis, 1998; Hobson et al., 1994).

Le carbone des végétaux porte une signature isotopique différente selon leur type de métabolisme et leur milieu. Les plantes à métabolisme photosynthétique de type C3 possèdent une déviation $\delta^{13}\text{C}$ de l'ordre de -28 ‰ en moyenne en zone tempérée et de -30 ‰ en zone tropicale (Medina et al., 1999; Remaud & Akoka, 2004). Ainsi pour le bananier, *Musa* sp. : $\delta^{13}\text{C} = -26.5$ ‰ (Yakir & Israeli, 1995).

2 - Transmission des isotopes dans les réseaux trophiques

Dans le règne animal, une analyse du carbone total de l'individu donne une indication précise quant à son régime alimentaire (Ponsard & Arditi, 2000).

- **Transmission de ^{13}C :** Les tissus animaux sont très faiblement enrichis en ^{13}C comparé à leur source de nourriture : 0.4 ± 1.4 ‰ (Gearing et al., 1984). Les valeurs en ^{13}C sont donc largement conservées dans les chaînes alimentaires, et fournissent des informations concernant l'identité du producteur primaire.
- **Transmission de ^{15}N :** L'enrichissement trophique isotopique ΔN est la différence entre le $\delta^{15}\text{N}$ d'un organisme et celui de sa nourriture. L'enrichissement trophique vaut en moyenne 3.4 ± 1.1 (Minagawa & Wada, 1984).

La signature en azote d'un organisme permet donc de déterminer le niveau trophique de l'espèce considérée (Ponsard & Arditi, 2000).

II- MATERIEL ET METHODES

A- Site d'expérimentation et dispositif expérimental

Le but de l'étude étant d'étudier la mise en place au cours du temps des réseaux trophiques s'organisant autour du charançon du bananier, et ce en un temps limité, nous avons utilisé le principe du « space for time ». Ainsi, au lieu de suivre l'évolution dans le temps de ces réseaux trophiques dans une unique parcelle, nous avons considéré et étudié simultanément plusieurs parcelles d'âges différents, i.e. plantées depuis une durée variable.

Dix parcelles âgées de 0 à plus de 12 ans ont donc été choisies au sein de l'habitation Macouba, située dans la commune de Macouba. Cette exploitation a été choisie comme site d'expérimentation du fait de sa localisation dans le Nord de l'île, où l'infestation des bananeraies par *C. sordidus* est la plus importante ; mais également parce qu'elle comportait une large gamme d'âges des parcelles cultivées.

Les parcelles appartenant à la même exploitation, étant relativement proches les unes des autres et situées à des altitudes peu différentes (Annexe 4), les caractéristiques physiques seront considérées semblables sur l'ensemble du terrain d'étude. Parmi ces parcelles, deux parcelles étaient en jachère :

- L'une, en tout début de jachère, détruite par une injection au glyphosate quelques semaines avant le début des expérimentations, est assignée de l'âge « 0 ».
- La seconde, en fin de jachère, tout juste replantée suite à une période de jachère, a été assignée d'un âge de 0,2 ans.

Les mesures ont été réalisées dans chaque parcelle, sur une placette de 20 mètres de côté, à chaque coin de laquelle 2 pièges Pitfall ont été disposés. Ce dispositif a été mis en place dans la zone centrale de chaque parcelle, afin d'éviter les biais liés à des effets de bordure.

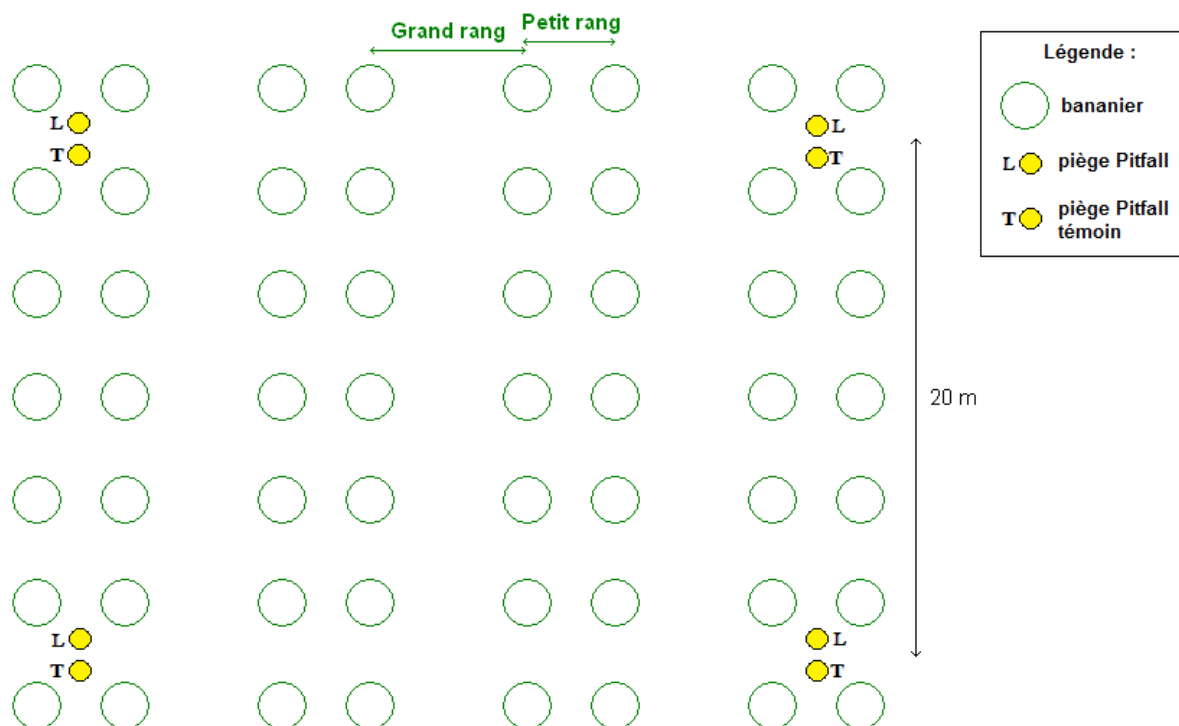


Figure 4 : Dispositif expérimental sur une parcelle élémentaire

B- Echantillonnage

1 - Piégeage des prédateurs potentiels de *Cosmopolites sordidus*

Les pièges Pitfall (ou Barber, fosse) utilisés sont des pièges Cosmotrack® qui consistent en un contenant enterré surmonté d'un couvercle le protégeant des intempéries. Le contenant est rempli au un tiers d'eau savonneuse ; un panier percé est placé au fond afin de récupérer facilement les individus piégés. Ce type de piège permet de capturer la majorité des arthropodes « marcheurs », dont les charançons et les prédateurs généralistes.

Chaque piège noté « L » sur la [figure 4](#) est constitué d'un piège Pitfall classique dans lequel est placé un appât, constitué d'une larve de *C. sordidus* et d'un morceau de bulbe de bananier en décomposition, emballés dans un bout de moustiquaire et suspendus au niveau de la partie aérienne du piège. Cette larve a pour objectif d'attirer les prédateurs potentiels de ce stade.



Figure 5 : a) Vue de profil d'un piège Pitfall Cosmotrack®. b) Vue de dessus du dispositif de piégeage.

Pour nous procurer les larves de *C. sordidus* en grande quantité, des morceaux de bulbes ont été prélevés dans des parcelles fortement infestées. Ces parcelles, précédemment cultivées avec des bananiers, venaient d'être mises en jachère, puis détruites depuis 2 à 3 semaines (avec une injection de glyphosate dans les pseudo-troncs de bananiers). Les morceaux de bulbes de bananier ont été débités en morceaux et les larves de *C. sordidus* prélevées dans les galeries.

Le morceau de bulbe de bananier placé avec la larve pour compléter l'appât sert de substrat à la larve, ce qui permet de la maintenir en vie plus longtemps, afin qu'elle conserve un pouvoir d'attraction. En outre, il a été montré que le morceau de bulbe de bananier attaqué par la larve pourrait lui-même être attractif pour certains prédateurs. (Tinzaraa et Gold, 2005)

Une campagne de relevés de 7 jours a été réalisée simultanément dans les 10 parcelles choisies. Des relevés intermédiaires ont eu lieu toutes les 48 heures, afin d'éviter une dégradation

trop importante des individus prélevés dans les pièges. Lors de ces relevés, l'abondance de chaque taxon dans chaque piège présent dans chaque parcelle a été archivée. Puis tous les individus, classés par taxa, ont été congelés. Par la suite, une identification des organismes recueillis a été effectuée. L'ensemble des individus collectés ont été classés selon leur régime alimentaire lorsqu'il était connu : prédateur, phytophage, détritivore, saprophage (Delvare et Aberlenc, 1989 ; Brévault et al., 2007) ou omnivore.

Ensuite, les individus ont été regroupés, donnant lieu à la constitution de 257 échantillons, qui ont été lyophilisés pendant 48 heures, réduits en poudre un par un grâce à un mortier et un pilon (Neilson et al, 1998 ; Schmidt et al. 2004). Un milligramme de chaque échantillon a été placé dans des capsules en étain standard de 4 x 3.2 mm et envoyé pour des analyses par Spectrométrie de Masse des Rapports Isotopiques (SMRI) au laboratoire d'analyse « Stable Isotops Laboratory », au « Scottish Crop Research Institute » de Dundee en Ecosse. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ sont données par le laboratoire. Elles sont calculées comme suit :

- $\delta^{13}\text{C} = 1000 * (\text{Réch} - 0.0112372) / 0.0112372$ (valeur en ‰)
- $\delta^{15}\text{N} = 1000 * (\text{Réch} - 0.0036765) / 0.0036765$ (valeur en ‰)

(avec Réch : rapport isotopique de l'échantillon à mesurer.)

2 - Test de la répétabilité des mesures isotopiques

L'échantillonnage a été réalisé de manière à ce que l'on ait jusqu'à 5 échantillons comportant des individus d'un même taxon provenant d'une même parcelle. Le nombre d'échantillons par taxon et par parcelle était dépendant du nombre d'individus piégés. Ce procédé nous a permis d'avoir plusieurs répétitions, afin d'optimiser la fidélité des résultats des mesures isotopiques.

3 - Evaluation des populations de *Cosmopolites sordidus*

Afin d'évaluer la pression en *C. sordidus* dans chaque parcelle, un piégeage de cet insecte a été réalisé pendant 3 semaines. Les mêmes pièges Cosmotrack® ont alors été utilisés avec des capsules de phéromone « Cosmolure® » suspendues dans les pièges. Pendant cette période de capture, 4 pièges ont été disposés par parcelle étudiée, aux coins de placettes carrées de 20 mètres de côté situées au centre des parcelles définies précédemment, et relevés chaque semaine.

III - RESULTATS

Toutes les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R (R Development Core Team, 2008).

A- Etude de la différence entre les pièges avec larves (L) et les pièges témoins (T)

Tout d'abord, nous avons testé s'il y avait une différence de piégeage entre les pièges contenant un appât et les pièges témoins. Pour cela nous avons comparé le nombre de taxa piégés pour chaque âge de parcelle et les abondances de chaque taxon, pour les pièges avec et sans larve.

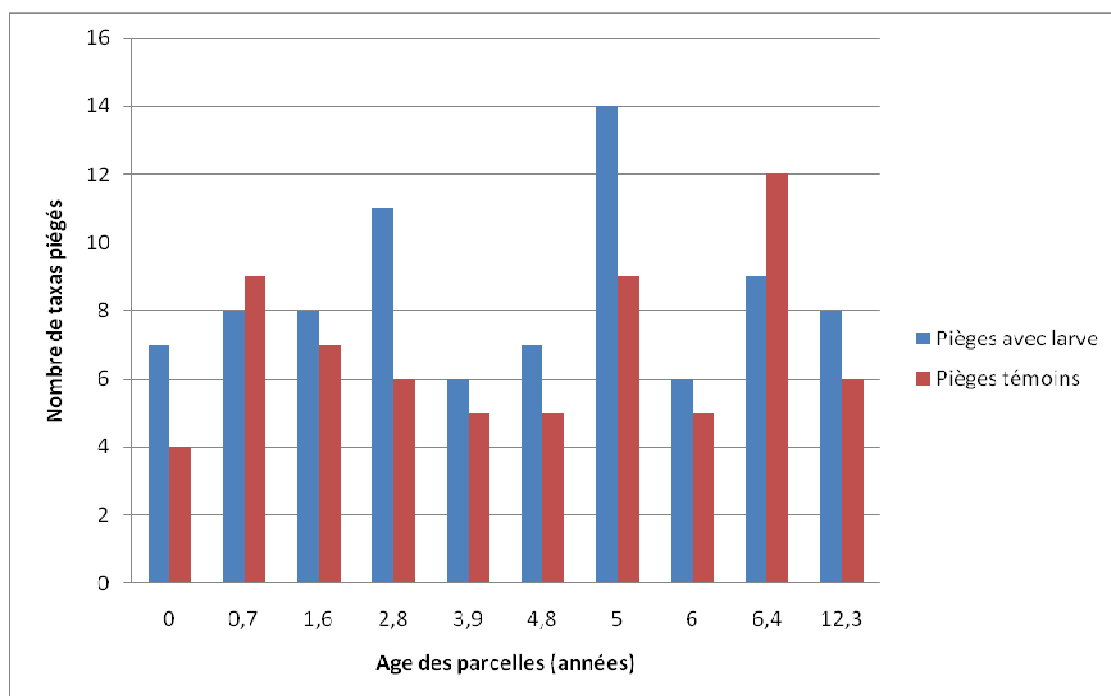


Figure 6 : Nombre de taxa piégés dans les différentes parcelles de l'habitation Macouba, selon le type de piège (témoin ou non), et en fonction de l'âge des parcelles.

Le nombre de taxa piégés semble être légèrement moins important dans les pièges témoins que dans les pièges contenant un appât, dans la plupart des parcelles.

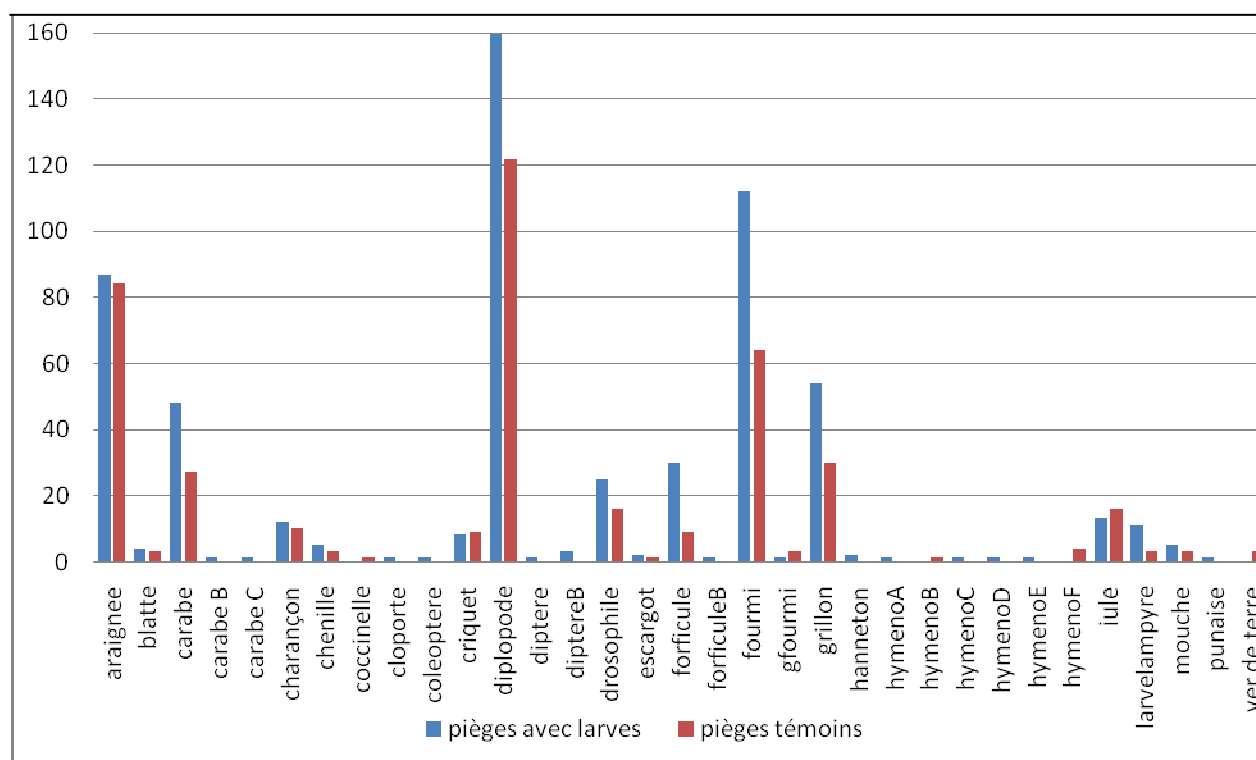


Figure 7 : Abondance totale des différents taxa piégés, selon le type de piège.

Afin de tester la significativité de l'effet du type de piège (témoin ou non) sur les abondances relevées, pour certains taxa, nous avons réalisé des analyses de variances à 1 facteur pour chacun de nos 7 taxa principaux, en prenant en compte les données pour chaque piège. Il ressort de ces tests que

les différences entre les abondances pour chaque taxon entre les pièges témoins ou non, ne sont pas significatives. Ainsi, dans la suite de nos études, nous cumulons les abondances des individus relevés dans les pièges contenant un appât et celles des pièges témoins.

B- Etude des abondances des taxa dans les parcelles

1 - Données générales sur les abondances des taxa

Au total, 33 taxa ont été piégés, et 1005 individus ont pu être dénombrés. Les abondances relevées vont de 1 pour certains taxa, à 289 pour le taxon « diplopode » (*Paradoxosomatidae*).

L'abondance en individus piégés, tous taxa confondus, a tendance à être moins importante, plus l'âge de la parcelle est élevé.

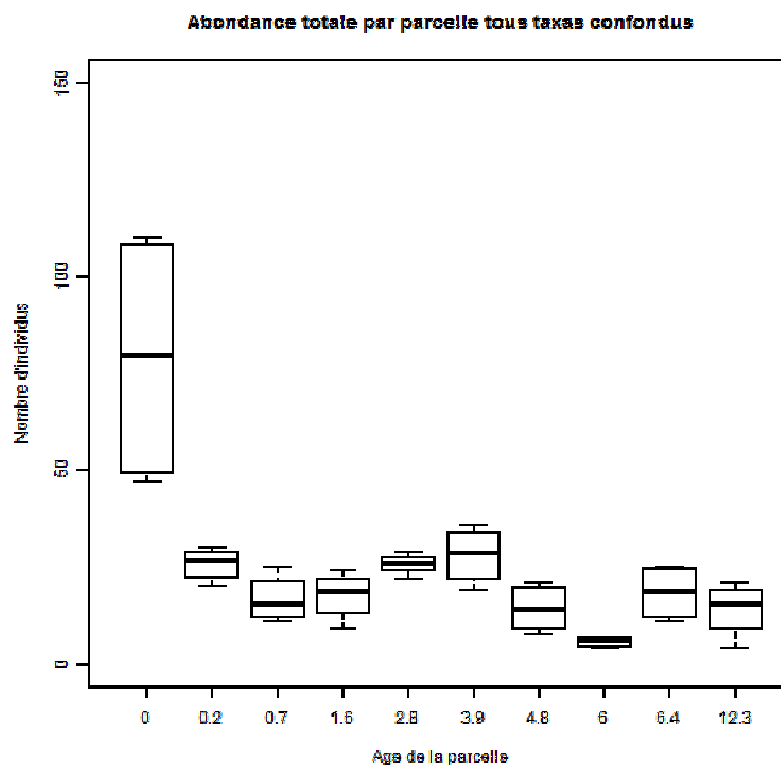


Figure 8 : Nombre total d'individus piégés en 7 jours dans les 10 parcelles de l'habitation Macouba, tous taxa confondus, en fonction de l'âge des parcelles.

L'effet de l'âge sur l'abondance cumulée des taxa dans les différentes parcelles est très significatif ($P\text{value}=2.110\text{e-}07$) (Annexe 6).

En outre, on remarque que le nombre de taxa différents piégés a tendance à être moins élevé lorsque l'âge des parcelles augmente.

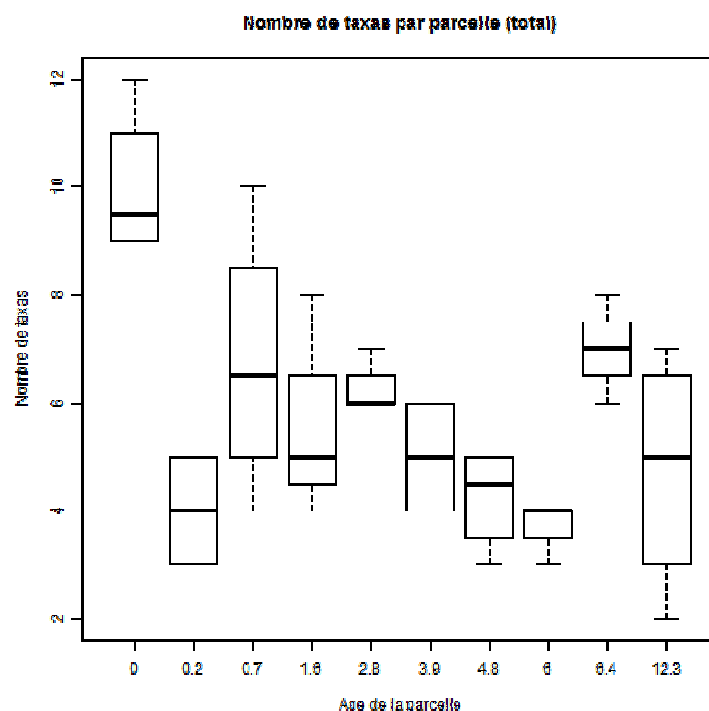


Figure 9 : Nombre de taxa différents piégés par parcelle, en fonction de l'âge des parcelles correspondantes.

L'effet de l'âge sur le nombre de taxa différents piégés dans les différentes parcelles est très significatif (Pvalue = 8.021e-05) (Annexe 6).

Par la suite, nous avons étudié plus particulièrement les taxa les plus représentés dans nos relevés, tout en étant pertinents.

2 - Evolution de l'abondance de chacun des taxa principaux en fonction de l'âge des parcelles

Les 7 taxa étudiés plus particulièrement par la suite sont : (Annexe 3)

- Araignée (*Lycosidae*) - prédateur
- Carabe (*Chlaenius sp.*) - prédateur
- Forficule (*Euborellia caraibea*) - omnivore, prédateur
- Grillon (*Grillus assimilis*) - phytophage
- Criquet (Orthoptera) - phytophage
- Iule (*Rhinocricidae*) - détritivore, saprophage
- Diplopode (*Paradoxosomatidae*) - détritivore

On observe une différence marquée entre les taxa identifiés comme des prédateurs et les taxa ayant un autre régime alimentaire. En effet, alors que l'abondance des insectes prédateurs piégés diminue de façon marquée avec l'augmentation de l'âge des parcelles, il n'en est pas de même pour les arthropodes non prédateurs piégés.

a) Prédateurs

- **Araignée :**

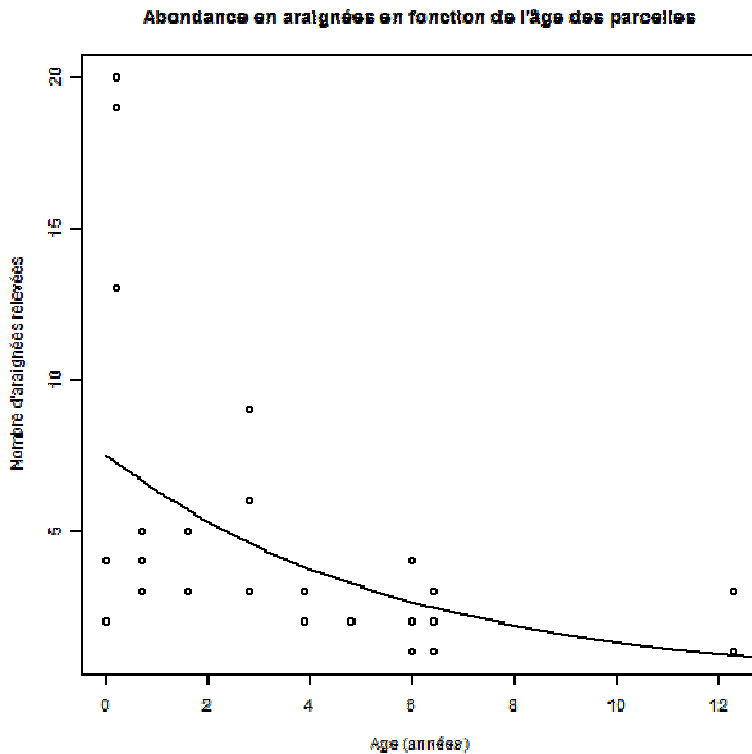


Figure 10 : Evolution de l'abondance en araignées piégées en 7 jours dans les 10 parcelles de l'habitation Macouba, en fonction de l'âge de ces parcelles. Points issus des données de relevés expérimentaux, superposés d'une courbe représentant les valeurs théoriques du modèle de régression linéaire multiple de type Poisson correspondant.

L'évolution de l'abondance des araignées en fonction de l'âge des parcelles suit un modèle de régression linéaire multiple de type Poisson de façon très significative ($P\text{value}=5.45e-09$, et la déviance résiduelle est du même ordre de grandeur que le nombre de degrés de libertés) (Annexe 6). Le nombre d'individus piégés diminue donc de façon significative avec l'augmentation de l'âge des parcelles dans lesquelles les araignées ont été piégées.

- **Carabes :**

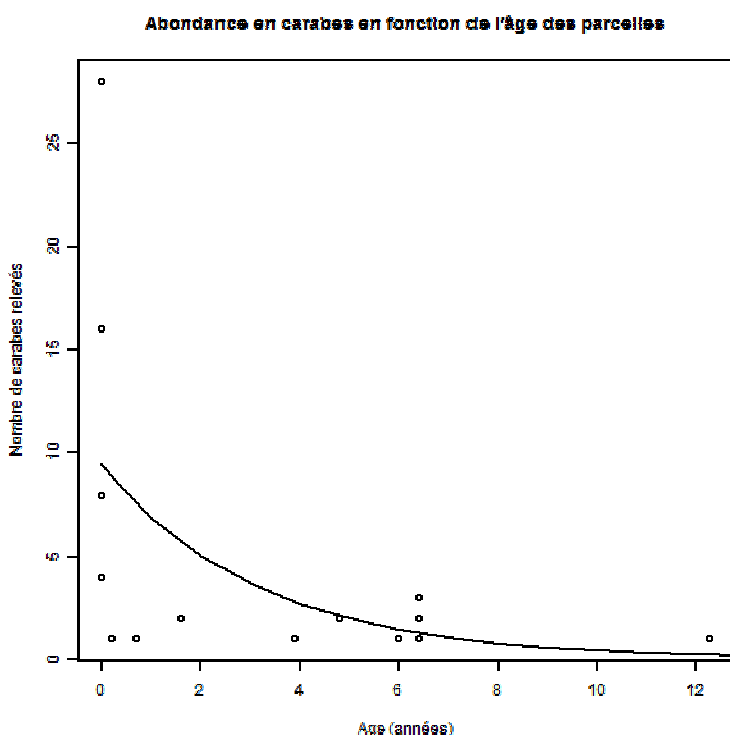


Figure 11 : Evolution de l'abondance en carabes piégés en 7 jours dans les 10 parcelles de l'habitation Macouba, en fonction de l'âge de ces parcelles. Points issus des données de relevés expérimentaux, superposés d'une courbe représentant les valeurs théoriques du modèle de régression linéaire multiple de type Poisson correspondant.

L'évolution de l'abondance des carabes en fonction de l'âge des parcelles suit également un modèle de régression linéaire multiple de type Poisson de façon très significative ($P\text{value}=1.37\text{e-}08$, et la déviance résiduelle est du même ordre de grandeur que le nombre de degrés de liberté). Le nombre d'individus piégés diminue donc de façon notable avec l'augmentation de l'âge des parcelles dans lesquelles les carabes ont été piégés.

- **Forficule :**

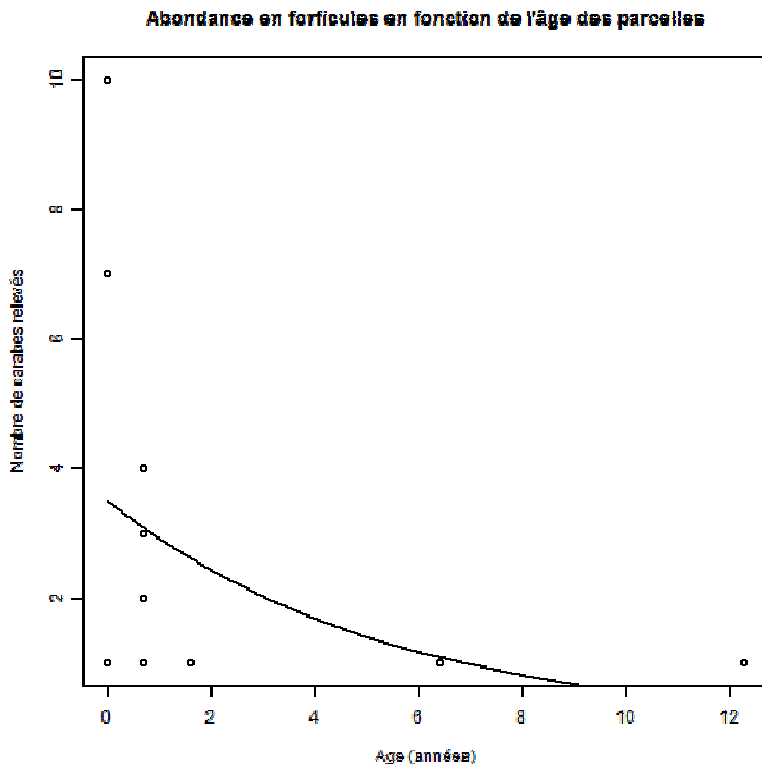


Figure 12 : Evolution de l'abondance en forficules piégés en 7 jours dans les 10 parcelles de l'habitation Macouba, en fonction de l'âge de ces parcelles. Points issus des données de relevés expérimentaux, superposés d'une courbe représentant les valeurs théoriques du modèle de régression linéaire multiple de type Poisson correspondant.

L'évolution de l'abondance des forficules en fonction de l'âge des parcelles suit un modèle de régression linéaire multiple de type Poisson de façon significative ($P\text{value}=0.0391$, et la déviance résiduelle est du même ordre de grandeur que le nombre de degrés de liberté). Le nombre d'individus piégés diminue donc avec l'augmentation de l'âge des parcelles dans lesquelles les forficules ont été piégés.

b) Non prédateurs

Contrairement aux taxa prédateurs, on ne peut dégager de manière significative de modèles expliquant l'évolution des abondances des taxa pour les non prédateurs.

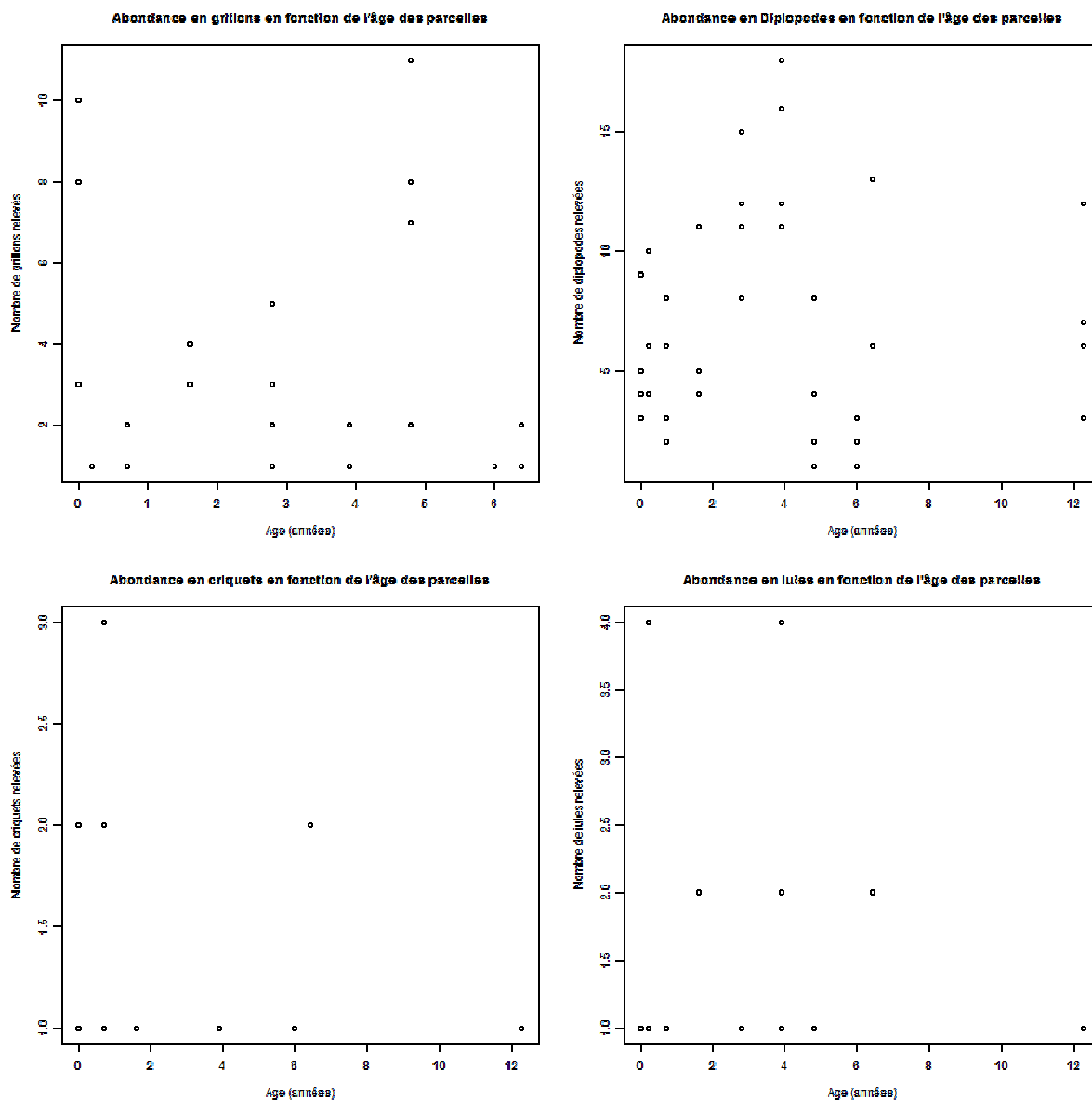


Figure 13 : Evolution de l'abondance des taxa non prédateurs principaux piégés en 7 jours dans les 10 parcelles de l'habitation Macouba, en fonction de l'âge de ces parcelles.
a) Grillons, b) Diplopodes, c) Criquets, d) Iules.

Les modèles de régressions linéaires de type Poisson ne sont pas significatifs pour ces taxa non prédateurs (Grillon : Pvalue=0.59, Diplopode : Pvalue=0.74, Criquet : Pvalue=0.55, Iule : Pvalue=0.69). Il est difficile de dégager une tendance marquée quant à l'évolution du nombre d'individus piégés en fonction de l'âge des parcelles, pour ces taxa. (Annexe 6)

c) *Cosmopolites sordidus*

Les relevés des pièges Pitfall contenant une pastille de phéromone pendant 22 jours nous ont permis de vérifier que la pression en *C. sordidus* est d'autant plus élevée que les parcelles sont âgées. Au total, 2272 individus ont été piégés.

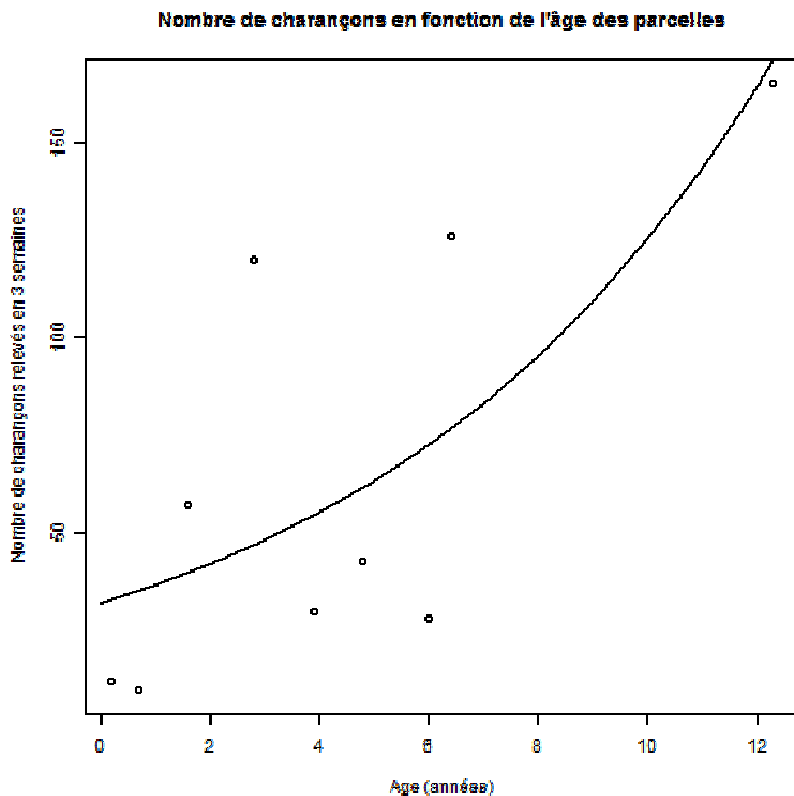


Figure 14 : Nombre de charançons piégés en 22 jours dans 9 des 10 parcelles de l'habitation Macouba, en fonction de l'âge de ces parcelles. Points issus des données de relevés expérimentaux, superposés d'une courbe représentant les valeurs théoriques du modèle de régression linéaire multiple de type Poisson correspondant.

Dans cette représentation, les données d'une des parcelles ont été retirées (parcelle d' « âge 0 »). En effet, cette parcelle en début de jachère ayant été récemment détruite, le nombre de *C. sordidus* piégés était très important (1681 charançons), les pièges s'avérant d'autant plus attractifs que l'habitat naturel des charançons venait d'être détruit. Ces conditions étant très particulières, nous n'avons pas inclus cette information pour modéliser l'évolution de l'abondance en *C. sordidus* en fonction de l'âge des parcelles.

L'évolution de l'abondance de *C. sordidus* en fonction de l'âge des parcelles suit un modèle de régression linéaire multiple de type Poisson de façon très significative ($P\text{value} < 2e-16$).

Le nombre d'individus piégés diminue donc de façon significative avec l'augmentation de l'âge des parcelles dans lesquelles les charançons ont été piégés.

C- Etude des résultats d'analyses de rapports isotopiques

1 - Résultats généraux

A l'aide d'une première représentation graphique en 2 dimensions des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ en fonction des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de tous les échantillons analysés (Annexe 5 a)), on note une première tendance de regroupement assez nette des différents taxa.

Nous avons réalisé des ANOVA (analyse de variance) à 2 facteurs afin de tester les effets du taxa, de l'âge et de l'interaction entre ces deux facteurs, sur les valeurs des $\delta^{15}\text{N}$ et des $\delta^{13}\text{C}$.

- **$\delta^{15}\text{N}$:** Au vu des résultats de ce test, l'effet des taxa ($F_{\text{value}}=41,99$; $P<2,2.10^{-16}$), l'effet de l'âge des parcelles ($F_{\text{value}}=4,20$; $P=6,6.10^{-6}$) et l'effet de l'interaction entre ces 2 facteurs ($F_{\text{value}}=2,10$; $P=0,00017$) sont très significatifs sur les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$. Nous vérifions de plus que le

test de normalité des résidus est significatif (P-value=0.0018), vérifiant les conditions d'application de l'ANOVA.

- $\delta^{13}\text{C}$: Au vu des résultats de ce test, l'effet des taxa ($F_{\text{value}}=17,34$; $P<2,2.10^{-16}$), l'effet de l'âge des parcelles ($F_{\text{value}}=34,48$; $P<2,2.10^{-16}$) et l'effet de l'interaction entre ces 2 facteurs ($F_{\text{value}}=2,50$; $P=3,89.10^{-6}$) sont significatifs sur les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$. On vérifie de plus que le test de normalité des résidus est significatif (P-value<2,2.10⁻¹⁶), vérifiant les conditions d'application de l'ANOVA.

Nous avons ensuite représenté, pour chaque taxon, les moyennes et les erreurs standards (écart type divisé par la racine du nombre de données sur lesquelles repose la moyenne) correspondantes (Annexe 5 b)). Les valeurs moyennes en $\delta^{15}\text{N}$ et en $\delta^{13}\text{C}$ sont comprises respectivement entre 0,52 et 9,62 ‰, et -27,76 et -10,37 ‰.

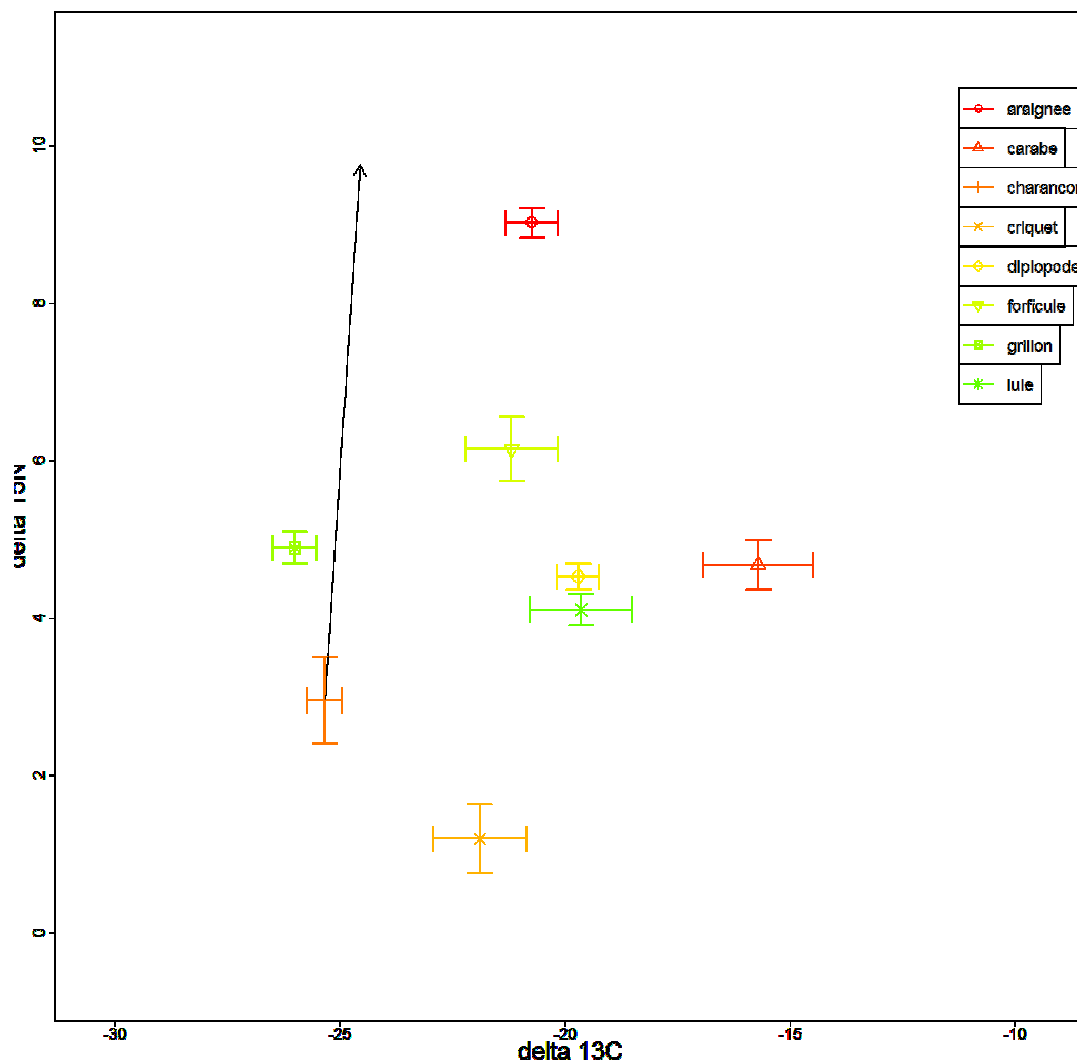


Figure 15 : Représentation graphique en 2 dimensions des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (exprimées en ‰) en fonction des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (en ‰), moyennes (\pm erreurs standards) pour chaque taxon. Seuls *C. sordidus* et les taxa les plus représentés sont sélectionnés.

La flèche représente une augmentation théorique de rapport 0,4‰ en $\delta^{13}\text{C}$ (en abscisse) pour 3,4‰ en $\delta^{15}\text{N}$ (en ordonnées), à partir des valeurs des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de *C. sordidus*.

Concernant les autres taxa prédateurs, intéressants pour notre étude mais piégés de façon moins importante, l'échantillon de fourmis avait une signature isotopique se rapprochant de celle des carabes ; et les échantillons de larves de lampyres analysés possédaient une signature isotopique moyenne proche de celle des araignées (les larves de lampyres sont prédatrices mais les adultes sont phytophages).

Il ressort de cette étude que les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ des taxa prédateurs et omnivores sont en général supérieures à celles des taxa détritivores et phytophages.

2 - Evolution du $\delta^{15}\text{N}$ en fonction du nombre de charançons, pour certains taxa

Nous avons observé l'évolution des $\delta^{15}\text{N}$ moyens des différents taxa, en fonction du logarithme décimal du nombre de charançons, et tenté d'y ajuster des modèles linéaires. Nous remarquons tout d'abord que les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des échantillons d'araignées diminuent avec l'augmentation du nombre de charançons piégés dans les parcelles. Il existe une relation linéaire significative entre le $\delta^{15}\text{N}$ moyen des échantillons d'araignées et le log du nombre de charançons (régression linéaire très significative : Pvalue=0.0095).

Delta15N araignée en fonction du nombre de charançons relevés en 3 semaines

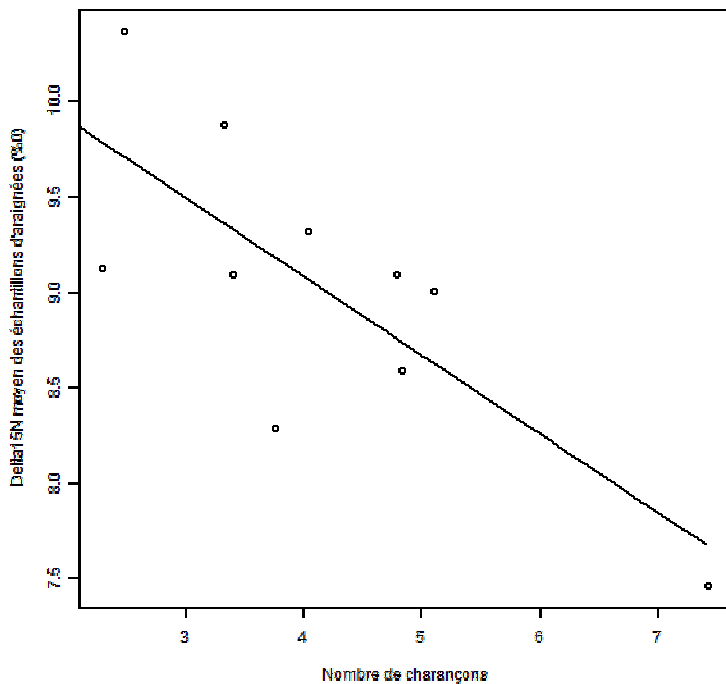


Figure 16 : Evolution du $\delta^{15}\text{N}$ moyen des échantillons d'araignées en fonction du logarithme décimal du nombre de charançons dénombrés dans les parcelles correspondantes. Points issus des données expérimentales, superposés d'une droite représentant les valeurs théoriques du modèle de régression linéaire correspondant.

En revanche, on ne retrouve pas de telle relation significative pour les autres taxa principaux étudiés, qu'ils soient prédateurs ou non. Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ pour chacun des taxa principaux a tendance à diminuer avec l'augmentation du nombre de charançons prélevés dans chaque parcelle (excepté pour le criquet). (Annexe 6)

3 - Etude de l'évolution des ratios de $\delta^{15}\text{N}$ entre certaines catégories de taxa, selon l'âge des parcelles

Nous avons finalement étudié l'évolution de certains ratios de $\delta^{15}\text{N}$ en fonction de l'âge des parcelles.

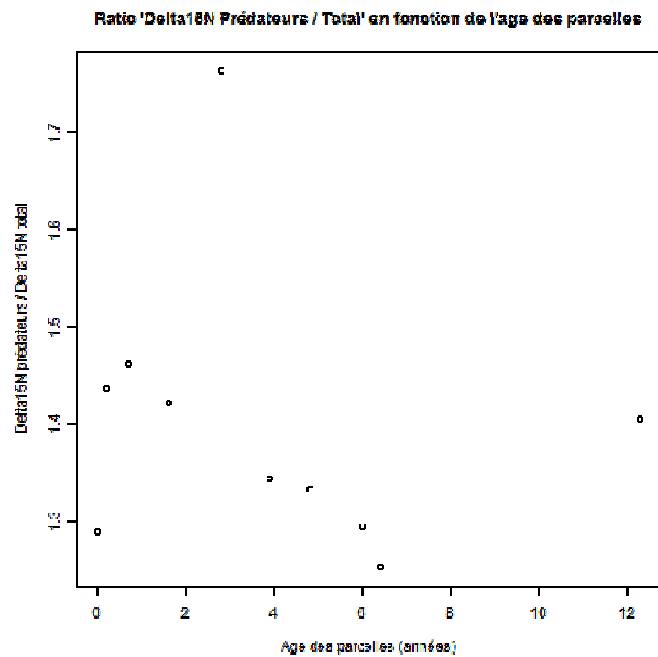


Figure 17 : Evolution du ratio [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen total] en fonction de l'âge des parcelles.

Nous remarquons que le ratio [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen total] diminue avec l'augmentation de l'âge des parcelles où les échantillons sont relevés. Cela signifie que le $\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs a tendance à diminuer, et tend à se rapprocher du $\delta^{15}\text{N}$ moyen total, lorsque l'âge des parcelles augmente.

Nous avons également étudié l'évolution des ratios [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen des détritivores], et [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen des phytophages] en fonction de l'âge des parcelles. Ces ratios sont représentatifs de prédation intraguilde (et son corollaire, l'omnivorie) ; plus ces ratios sont élevés, plus il y a de prédation intraguilde et moins il y a d'omnivorie.

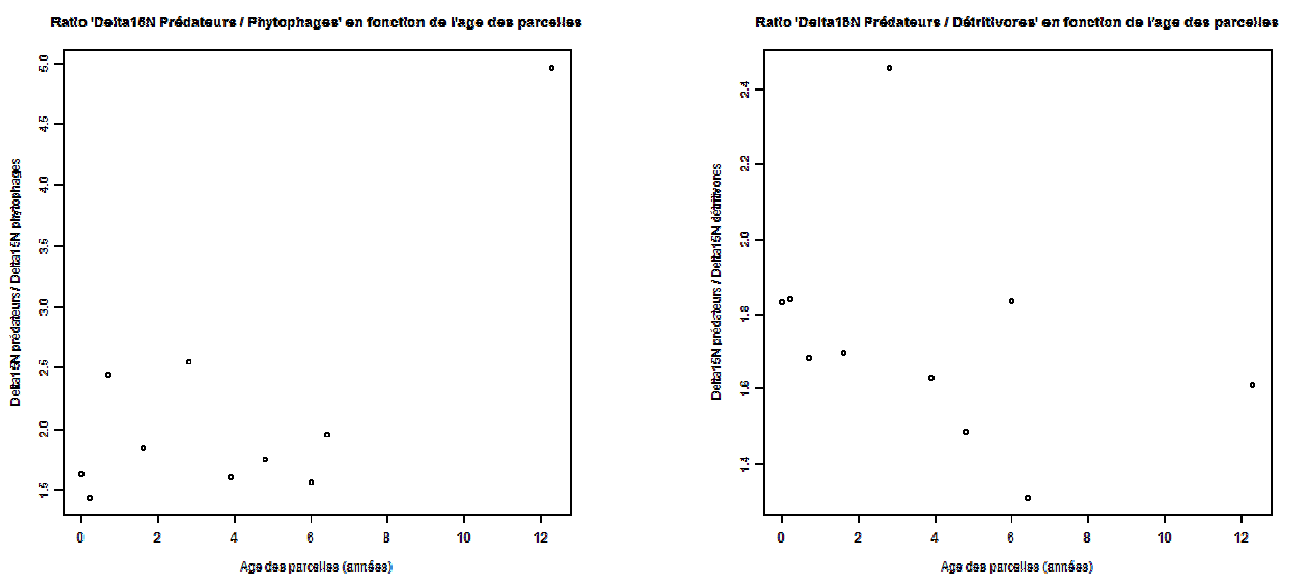


Figure 18 : a) Evolution du ratio [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen des phytophages] en fonction de l'âge des parcelles. b) Evolution du ratio [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen des détritivores] en fonction de l'âge des parcelles.

Le ratio [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen des détritivores] a tendance à diminuer avec l'augmentation de l'âge des parcelles. Le $\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs se rapproche donc de celui des détritivores dans les parcelles plus âgées. Concernant le ratio [$\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs / $\delta^{15}\text{N}$ moyen des phytophages] il est plus dur de dégager une tendance.

IV- DISCUSSION

A- Effet de l'âge des parcelles sur les abondances des taxa

Le fait que la différence de piégeage entre les pièges avec larve et les pièges témoins ne semble pas significative, pour les principaux taxa étudiés, pourrait être due au fait que ces pièges sont relativement proches (à environ 20 cm l'un de l'autre). Alors, certains arthropodes attirés par l'appât du piège dit « L » pourraient tomber dans le piège témoin au passage, expliquant la différence moindre entre les abondances relevées dans les deux types de pièges.

Concernant l'abondance des arthropodes piégés, l'effet de l'âge des parcelles n'est pas significatif sur la totalité des taxa. Le type de régime alimentaire semble jouer un rôle déterminant dans cette observation. En effet, alors que l'effet de l'âge des parcelles n'est pas significatif sur les taxa phytophages et détritivores étudiés, il l'est pour nos trois prédateurs les plus représentés dans nos relevés, à savoir l'araignée, le carabe et le forficule.

Le fait que l'abondance des prédateurs piégés soit plus faible dans des parcelles plus âgées pourrait être expliqué par le fait que la présence de charançons dans ces parcelles est accrue. En effet, les charançons (adultes et larves) présents en plus grand nombre dans ces parcelles peuvent exercer une forte attraction pour les prédateurs présents, concurrençant le pouvoir attractif de nos pièges contenant une larve de charançon. Il se pourrait aussi qu'il y ait tout simplement une abondance moindre de ces prédateurs dans les parcelles plus âgées.

Par ailleurs, l'augmentation importante du nombre de charançons piégés avec l'âge des parcelles semble logique, étant donné l'interdiction d'utiliser des insecticides efficaces contre ce ravageur, et du fait que très peu de pièges à charançons sont utilisés dans l'exploitation Macouba, où a été réalisée cette étude. Les conditions sont donc réunies pour le développement important des populations de *C. sordidus* dans les parcelles, alors d'autant plus infestées que les parcelles ont été plantées depuis une longue durée.

B- Caractérisation du réseau trophique par analyse isotopique

De manière générale, les signatures isotopiques $\delta^{15}\text{N}$ mesurées sont cohérentes avec les régimes alimentaires présumés des taxa capturés. Les prédateurs sont ceux qui ont les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ les plus élevées. Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ des taxa présumés prédateurs et omnivores sont généralement supérieures à celles des taxa présumés détritivores et phytophages. Ceci confirme que le $\delta^{15}\text{N}$ dépend bien du régime alimentaire dans le système étudié (Ponsard et Arditi, 2000). On peut toutefois remarquer quelques particularités :

Les échantillons de carabes (*Chlaenius sp.*) ont une valeur moyenne en $\delta^{15}\text{N}$ plus faible que les autres prédateurs, se rapprochant de celles des taxa détritivores ou omnivores. Ce résultat a

également été mis en évidence au cours une étude réalisée en 2008 au centre de l'île de la Martinique (Lavigne, 2008). Ces individus pourraient appartenir (au moins en partie) à un réseau trophique différent de celui du bananier et utiliser une ressource extérieure à la parcelle ou inconnue, ayant une signature isotopique en $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ différente de celle du bananier. Ces résultats doivent cependant être analysés avec précaution car l'enrichissement trophique isotopique des consommateurs est inconnu, or il peut varier fortement en fonction du régime alimentaire (Halaj et al., 2005). Il faudra dans des études futures mesurer l'enrichissement réel pour ces taxa majeurs dans le réseau trophique du charançon.

Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ pour les grillons sont plus élevées que celles des autres phytophages. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que certains individus sont restés jusqu'à 48 heures dans les pièges avant d'être relevés et congelés ; certains étaient donc en état de décomposition, plus ou moins avancé. Au cours des relevés de pièges, nous avons pu remarquer que certains taxa sont plus sujets à une décomposition rapide, notamment le grillon. Nous pouvons alors nous demander si dans ces cas de décomposition avancée, les valeurs des rapports isotopiques n'auraient pas pu être faussées par un mélange des différents éléments et tissus provenant d'autres individus présents dans le piège. Les araignées possèdent les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ parmi les plus élevées, suggérant leur place de super-prédateurs, de même que les larves de lampyres (bien que celles-ci aient été piégées en bien moindre abondance, sûrement du fait de leurs déplacements plus limités).

Globalement, l'analyse des différents taxa a permis de définir la structure du réseau trophique du charançon du bananier. La signature isotopique du bananier en $\delta^{13}\text{C}$ est de -26,5 ‰ (Lavigne, 2008). Dans cette étude, le charançon du bananier montre des valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ de -25,34 ‰ et de $\delta^{15}\text{N}$ de 2,95 ‰. Les prédateurs potentiels de *C.sordidus* les plus intéressants semblent avoir des teneurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ comprises entre -21,35 ‰ et -14,89 ‰ et de $\delta^{15}\text{N}$ variant de 5,53 ‰ à 9,61 ‰. Cela regroupe ces 4 taxa : araignée, larve de lampyre, forficule et fourmis (taxon général) (Annexe 3).

C- Potentiel de régulation de *Cosmopolites sordidus*

Cette étude a permis d'avoir un aperçu des espèces potentiellement prédatrices de *C. sordidus* présentes dans les bananeraies, notamment des auxiliaires de culture potentiels présents. La lutte biologique à l'aide d'arthropodes prédateurs est considérée comme le meilleur moyen de contrôle de ce ravageur (Abera-Kalibata *et al.*, 2006; Gold *et al.*, 2001). Les ennemis naturels, potentiellement capables de se nourrir des stades immatures des charançons dans les bulbes, sont les plus susceptibles de convenir comme agent de lutte biologique.

Les araignées présentent un potentiel de régulation important (Birkhofer *et al.*, 2007; Carter & Rypstra, 1995). Notre étude montre que l'araignée semble effectivement être un prédateur potentiel intéressant, étant donné la signature isotopique mesurée sur ces échantillons, comparée à celle de *C. sordidus*. Les forficules, mais également les larves de lampyre et les fourmis (taxa tous deux peu piégés par notre dispositif, mais au potentiel intéressant) constituent également des prédateurs potentiels intéressants.

D- Effet de l'âge des parcelles sur les signatures isotopiques des taxa

La signature isotopique du charançon du bananier ne varie que très peu en fonction de l'âge des parcelles, ces derniers se nourrissant presque exclusivement de tissus de bananier, dans la mesure où cette ressource est présente dans leur environnement proche. Cependant, les valeurs moyennes des $\delta^{15}\text{N}$ des araignées diminuent lorsque l'âge des parcelles augmente. Ceci peut être dû à un changement du degré d'omnivorie (Post & Takimoto, 2007). En effet, lorsqu'il y a prédation intraguilde, la longueur de la chaîne trophique diminue avec l'augmentation de la disponibilité en ressource, et plus la disponibilité augmente, plus le degré d'omnivorie augmente (Post & Takimoto, 2007). Une forte prédation intraguilde a pour conséquence une réduction de la prédation d'individus de la communauté phytophage et ainsi une régulation plus faible des bioagresseurs. Il semblerait donc qu'il y ait une augmentation du degré d'omnivorie des araignées avec l'augmentation de l'âge des parcelles, la disponibilité en *C. sordidus* étant accrue (nous observons une même tendance pour les autres taxa prédateurs, bien qu'elle ne soit pas significative dans ces autres cas).

La comparaison de l'évolution du $\delta^{15}\text{N}$ moyen des prédateurs à celle du $\delta^{15}\text{N}$ moyen total puis à celle du $\delta^{15}\text{N}$ moyen des détritivores en fonction de l'âge des parcelles ont tendance à confirmer ces observations, de façon plus générale. En effet, cela nous a permis de confirmer la tendance à l'augmentation de l'omnivorie des prédateurs avec l'augmentation de l'âge des parcelles ; plus de contrôle des phytophages devrait donc être exercé dans les parcelles plus âgées. Cependant, étant donné que la population de *C.sordidus* augmente fortement avec l'âge des parcelles, le contrôle de ce ravageur par les prédateurs n'est apparemment pas assez efficace.

E- Perspectives et améliorations

Nous avons considéré que les variations entre les conditions des différentes parcelles étudiées négligeables, pour réaliser cette étude en utilisant la méthode du « space for time ». Nous avons en effet procédé de telle sorte que l'âge soit le principal facteur variant de manière importante. Cependant, d'une parcelle à l'autre, les conditions n'étaient pas totalement identiques ; notamment la structure et la composition du sol et de la litière. Les traitements réalisés et les intrants appliqués sur les parcelles n'étaient pas non plus totalement identiques. Une variation de ces facteurs peut avoir un impact sur la macrofaune présente dans les parcelles, donc sur les arthropodes piégés. L'idéal serait de mettre en place des parcelles expérimentales où l'on pourrait suivre l'évolution au cours du temps des populations d'arthropodes en évitant ces biais. Un tel type d'expérimentation serait cependant long et coûteux.

Concernant le piégeage des individus de la macrofaune de la litière des bananeraies, il serait désormais préférable de se focaliser uniquement sur certaines espèces. Cette étude a permis de cibler certaines espèces de prédateurs généralistes potentiels présents sur les bananeraies du Nord de la Martinique et appartenant au réseau trophique du charançon du bananier. Ainsi un piégeage spécifique, sur une plus longue durée, des 4 taxa paraissant les plus intéressants (fourmis (toutes espèces confondues), araignées, larves de lampyres, forficules) pourrait peut-être être envisagé. Ceci permettrait certainement d'obtenir des abondances plus élevées, pouvant amener des résultats plus précis.

Notre étude place notamment l'araignée parmi les prédateurs potentiels de *C. sordidus* les plus intéressants. Il faudrait tout de même vérifier qu'elle peut effectivement s'attaquer au charançon du bananier *C. sordidus*, en la mettant en présence des différents stades du charançon (larve et adulte, voire éventuellement œuf) dans des conditions proches des originelles, et en observant l'existence ou non de prédation.

La fourmi a été à plusieurs reprises identifiée comme le taxon présentant un potentiel de régulation très important vis-à-vis des stades œuf et larve de *C. sordidus*. En effet, la plupart des prédateurs potentiels, du fait de leur manque de spécialisation, semblent limités dans leur capacité à atteindre les œufs, les larves et les pupes du charançon du fait qu'ils soient confinés à l'intérieur de la plante (Koppenhofer, 1993; Koppenhofer *et al.*, 1992). Les fourmis semblent elles faire exception à cette limite vu leur capacité à creuser le sol, trouver les œufs à la surface du rhizome et de parcourir les galeries des larves (Abera-Kalibata *et al.*, 2007). Elles présentent en outre un potentiel de prédation intéressant dû à leur abondance dans les bananeraies et du fait qu'elles ne sont pas affectées par la satiété, raisonnant au niveau de la colonie (Room, 1971). Le dispositif expérimental de piégeage mis en place au cours de notre étude ne nous a malheureusement pas permis de piéger en grand nombre les fourmis présentes sur les parcelles. En effet, les pièges Pitfall ne semblent pas être idéaux pour piéger les fourmis. Nous avons donc mis en place un autre type de piégeage, instantané, afin de piéger plus spécifiquement ce taxon. Ces pièges étaient constitués d'un couvercle de boîte Tupperware, au centre duquel était épinglée une larve de *C. sordidus*. Le tout était recouvert d'une barquette en aluminium protectrice, évitant une prédation par les grenouilles et les oiseaux présents sur les sites d'expérimentations. Ces pièges étaient également disposés à raison de 4 par parcelle étudiée. Les pièges étaient armés dans les 10 parcelles, puis relevés après un temps donné (une demi-journée), en refermant rapidement la boîte Tupperware. Le but étant d'évaluer, à un instant donné, la population de prédateurs (essentiellement des fourmis) présente dans chaque parcelle. Cependant, les premiers essais d'un tel piégeage ne se sont pas avérés concluants, et le temps nous a malheureusement manqué pour mener à bien cette expérimentation. Il serait intéressant de relancer une telle série d'expérimentations.

CONCLUSION

Les mesures des signatures isotopiques des individus piégés dans la litière des bananeraies nous a permis de définir la structure du réseau trophique du charançon du bananier *C. sordidus*. Nous avons ainsi pu identifier quatre taxa de prédateurs généralistes potentiellement intéressants dans la régulation de ce bioagresseur : araignées, larves de lampyres, forficules, et fourmis (toutes espèces confondues).

L'abondance des taxa prédateurs piégés s'est révélée significativement moindre dans les parcelles plus âgées. Par ailleurs, au cours du temps, le degré d'omnivorie des prédateurs généralistes augmente ; ce résultat est notamment mis en évidence chez les araignées *Lycosidae*. Le contrôle des phytophages exercé par ces prédateurs généralistes serait alors accru. Cependant, dans

les conditions actuelles, ce contrôle semble insuffisant pour limiter le développement des populations de *C.sordidus* dans les parcelles âgées.

Le potentiel de ces araignées en tant que prédateurs semble très important ; il en serait de même pour les fourmis, de plus en plus couramment utilisées en tant qu'auxiliaires de culture. Une bonne étude et compréhension du fonctionnement de ces taxa et de leur prédation permettrait d'améliorer les possibilités de contrôle du charançon du bananier.

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier Philippe Tixier, qui m'a permis de réaliser ce stage.

Merci également à toute l' « équipe banane » du CIRAD Martinique, avec laquelle ce fut un plaisir de travailler : Pierre- François Duyck, Fabrice Vinatier, Raphaël Achard, Morgane Blanchard, Christophe Bugaud, Anaïs Chailleux, Amélie Février, Emmanuelle Dortel, ainsi que tous les techniciens pour leur aide et leur gentillesse... Un remerciement particulier à Rémy Kulagowski avec qui j'ai réalisé les travaux de terrain. Et à Nadine Fitté-Duval, qui a partagé mon bureau dans la bonne humeur.

Je tiens à remercier le personnel du laboratoire de pédologie, et notamment Eliane Marville et Nelly Telle. Merci à Eddie Dumbardon de la FREDON qui nous a aidé à identifier certains taxa.

Merci également à Mr Antoine Desgrottes, propriétaire de l'habitation Macouba, qui m'a permis de mettre en place mes dispositifs expérimentaux dans son exploitation ; et également à Caroline Marion et son collègue, pour leur disponibilité et leur gentillesse.

Enfin, j'adresse un merci à Nicolas Rodet de l'exploitation Eden et Proban, et à l'exploitation Souraya, qui nous ont permis de récupérer sur leurs parcelles le matériel vivant nécessaire à nos études.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abera-Kalibata, A.M., Hasyim, A., Gold, C.S., & Driesche, R.V. (2006) Field surveys in Indonesia for natural enemies of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar). *Biological Control*, **37**, 16-24.

Abera-Kalibata, A.M., Gold, C.S., Driesche, R.G.V., & Ragama, P.E. (2007) Composition, distribution, and relative abundance of ants in banana farming systems in Uganda. *Biological Control*, **40**, 168-178.

Anderson, W.A. & Polis, G.A. (1998) Marine subsidies of island communities in the Gulf of California: evidence from stable carbon and nitrogen isotopes. *Oikos* **81** 75-80.

Birkhofer, K., Scheu, S., & Wise, D.H. (2007) Small-Scale Spatial Pattern of Web-Building Spiders (Araneae) in Alfalfa: Relationship to Disturbance from Cutting, Prey Availability, and Intraguild Interactions. *Environmental Entomology*, **36**(4), 801-810.

- Brévault T., Bikay S., Maldès J.M. et Naudin K. (2007) Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research* 97 (2) : 140-149.
- Cardinale, B.J., Harvey, C.T., Gross, K., & Ives, A.R. (2003) Biodiversity and biocontrol: emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem. *Ecology Letters*, **6**, 857-865.
- Carter, P.E. & Rypstra, A.L. (1995) Top-down effects in soybean agroecosystems - spider density affects herbivore damage. *Oikos*, **72**, 433-439.
- Costamagna, A.C., Landis, D.A., & Difonzo, C.D. (2007) Suppression of soybean aphid by generalist predators results in a trophic cascade in soybeans. *Ecological Applications*, **17**, 441-451.
- Delattre, P. (1980) Recherche d'une méthode d'estimation des populations du charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus* Germar (Col., Curculionidae). *Acta Oecologica : Oecologica Applicata*, **1**, pp. 83-92.
- Delvare, G. & Aberlenc, H.P. (1989) Insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles. Montpellier CIRAD, 298 pp.
- Ganry, J. (2004) Specific diversity of plant populations at rainfed scale and crop protection: the example of banana production in the French West Indies. *Comptes Rendus Biologies*, **327** 621–627.
- Gearing, J.N., Gearing, P.J., Rudnick, D.T., Requejo, A.G., & Hutchins, M.J. (1984) Isotopic variability of organic carbon in a phytoplankton-based estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1089-1098.
- Gold, C.S., Pena, J.E., & Karamura, E.B. (2001) Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae). *Integrated Pest Management Reviews*, **6**, 79-155.
- Greathead, D.J. (1986) Opportunities for biological control of insect pests in tropical Africa. *Revue. Zool. Afr.*, **100**, 85-96.
- Halaj, J., Peck, R.W., & Niwa, C.G. (2005) Trophic structure of a macroarthropod litter food web in managed coniferous forest stands: a stable isotope analysis with $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$. *Pedobiologia*, **49**, 109-118.
- Hobson, K.A., Piatt, J.F., & Pitochelli, J. (1994) Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology*, **63** 786-798.
- Hustache, A. (1929) Les Curculionidés de la Guadeloupe.
- Koppenhofer, A.M., Seshu Reddy, K.V., Madel, G., & Lubega, M.C. (1992) Predators of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Col.: Curculionidae) in Western Kenya. *Journal of Applied Entomology*, **114**, 530-533.
- Koppenhofer, A.M. (1993) Egg predators of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Col, Curculionidae) in western Kenya. *Journal of Applied Entomology*, **116**, 352-357.
- Lassoudière, A. (2007) Le bananier et sa culture. Versailles: Editions Quae, 383 pp.

- Lavigne, A. (2008) Etude de la structure des réseaux trophiques des bananeraies antillaises par approche isotopique. Potentialités de régulation des bioagresseurs. *Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du titre d'Ingénieur, Institut National d'Horticulture et du Paysage*
- Lemaire, L. (1996) Les relations sémiochimiques chez le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) et la résistance de sa plante-hôte, le bananier, Université de Montpellier II, Montpellier.
- Medina, E., Martinelli, L.A., Barbosa, E., & Victoria, R.L. (1999) Natural abundance of ^{13}C in tropical grasses from the INPA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Herbarieum. *Revista brasileira de Botânica*, **22** 1-19.
- Minagawa, M. & Wada, M.E. (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **50**, 2143-2146.
- Neilson R., Hamilton D., Wishart J., Marriott C.A., Boag B., Handley L.L., Scrimgeour C.M., McNicol J.W., Robinson D. (1998) Stable isotope natural abundances of soil, plants and soil invertebrates in an upland pasture. *Soil Biology and Biochemistry* **30** (13) : 1773-1782.
- Oelbermann, K. & Scheu, S. (2002) Stable isotope enrichment ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) in a generalist predator (*Pardosa lugubris*, Araneae : Lycosidae): effects of prey quality. *Oecologia*, **130**, 337-344.
- Ponsard, S. & Ardit, R. (2000) What can stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) tell about the food web of soil macro-invertebrates ? *Ecology* **81** **3**, 852-864.
- Post, D.M. & Takimoto, G. (2007) Proximate structural mechanisms for variation in food-chain length. *Oikos*, **116**, 775-782.
- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Remaud, G. & Akoka, S. (2004) L'Isotope : Traceur d'Origine. Distribution isotopique dans les composés naturels.
- Room, P.M. (1971) The relative abundance of ant species in Ghana's Cocoa farms. *Journal of Animal Ecology* **40**, 735-751.
- Schmidt O., Curry J.P., Dyckmans J., Rota E. et Scrimgeour C.M. (2004) Dual stable isotope analysis ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of soil invertebrates and their food sources. *Pedobiologia* **48** (2) : 171-180.
- Sirjusingh, C., Kermarrec, A., Mauleon, H., Lavis, C., & Etienne, J. (1992) Biological control of weevils and whitegrubs on bananas and sugarcane in the Caribbean. *Florida Entomologist*, **75**(4), 548-562.
- Stover, R.H. & Simmonds, N.W. (1987) Bananas : Third Edition. New York : John Wiley and Sons, 469 pp.
- Tinzaara, W., Gold, C. S., Dicke, M., Van Huis, A. (2005) Olfactory responses of banana weevil predators to volatiles from banana pseudostem tissue and synthetic pheromone, *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 31, No. 7, July 2005.

Treverrow, N. (1985) Banana weevil borer. *Agfacts H6. AE.1*, 1-3.

Treverrow, N. (1993) An Integrated Management Program for Banana Weevil Borer, rep. no. Fr/0012/RO, Wollongbar Agric. Institute, Wollongbar New South Wales, Australia.

Yakir, D. & Israeli, Y. (1995) Reduced solar irradiance effects on net primary productivity (NPP) and the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in plantations of *Musa* sp., Musaceae. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **49**, **10**, 2149-2151.

SOURCES DES PHOTOGRAPHIES :

Page de garde : auteur Fabrice VINATIER.

Figure 1 : auteur Fabrice VINATIER.

Figure 2 a) : <http://www.ctahr.hawaii.edu/nelsons/banana/corm%20weevil%20larva%200018.jpg>

Figure 2 b) : auteur Daphney DAGNEAUX.

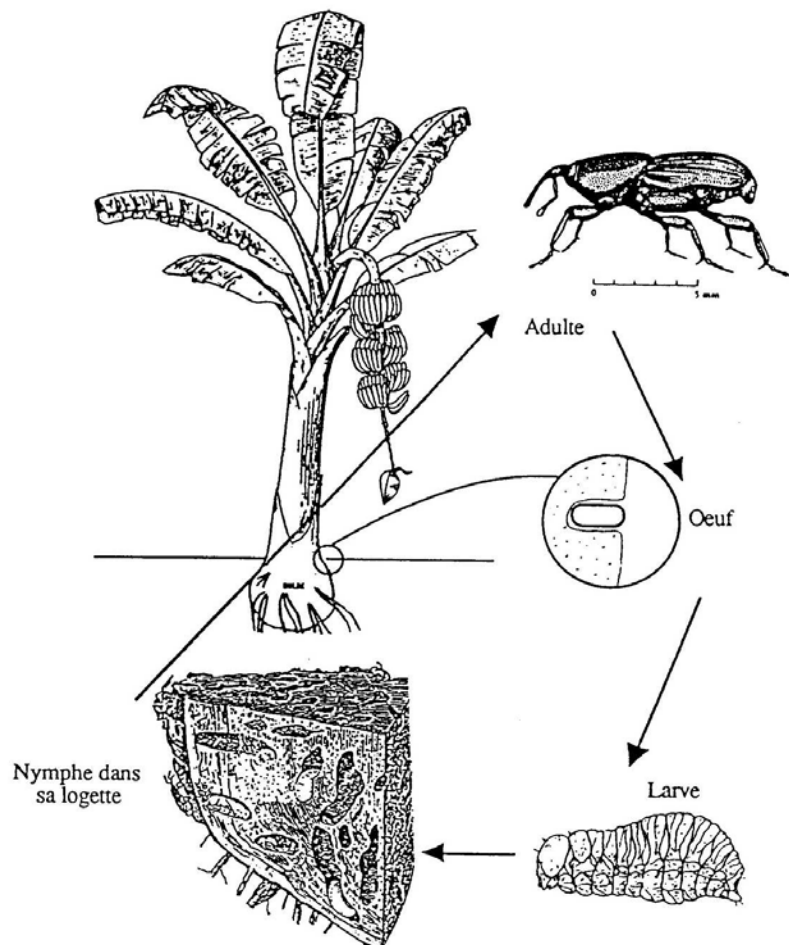
Figure 3 : http://www.prpv.org/index.php/fr/protection_des_cultures/fiches_maladies_et_ravageurs_par_culture/cultures_fruitieres/le_charancon_noir_du_bananier

Figure 5 a) : Daphney DAGNEAUX.

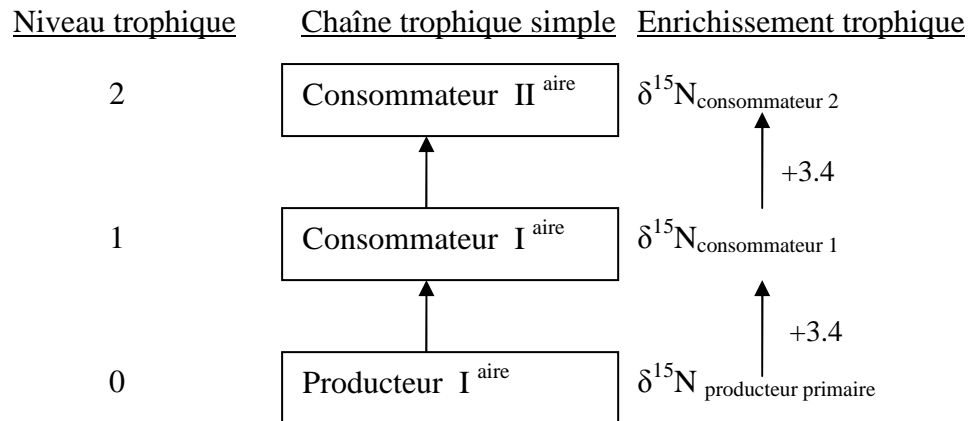
Figure 5 b) : Rémy KULAGOWSKI.

ANNEXES

Annexe 1 : Cycle de vie de *Cosmopolites Sordidus*. Hôte : bananier, *Musa* sp.



Annexe 2 : Illustration de l'enrichissement trophique et détermination du niveau trophique à l'aide du $\delta^{15}\text{N}$. Enrichissement trophique $\delta^{15}\text{N}=3.4 \pm 1.1$ (Minagawa & Wada, 1984)



Annexe 3 : Taxa représentés - et piégés - sur les parcelles étudiées (échelle : 1 carreau = 0,5 cm):



- Charançon :

Phytophage

Hexapoda
Coleoptera
Curculionidae
Cosmopolites sordidus



- Araignée :

Prédateur

Chelicerata
Araneae
Lycosidae



- Larve lampyre :

Prédateur

Hexapoda
Coleoptera
Lampyridae (larve)



- Carabe :

Prédateur

Hexapoda
Coleoptera
Carabidae
Chlaenius sp.

- Carabe C :

Prédateur

Hexapoda
Coleoptera
Carabidae
Galerita tristis



- Fourmi :

Omnivore, prédateur

Hexapoda
Hymenoptera
Formicidae



- « gfourmi » :

Omnivore, prédateur

Hexapoda
Hymenoptera
Formicidae



- Forficule :

Omnivore, prédateur

Hexapoda
Dermaptera
Forficulidae
Euborellia caraibea



- Grillon :

Phytophage

Hexapoda
Orthoptera
Gryllidae
Grillus assimilis



- « Diplopode » :

Détritivore

Myriapoda
Diplopoda
Paradoxosomatidae



- Iule :

Détritivore(saprophage)

Myriapoda
Diplopoda
Rhinocricidae



- « DiptereB » :

Détritivore

Hexapoda
Diptera
Micropezidae



- Blatte :

Détritivore (Saprophage)

Hexapoda
Dictyoptera
Blattodea
Periplaneta americana



- Criquet :

Phytophage

Hexapoda
Orthoptera



- Hanneton :

Phytophage

Hexapoda
Coleoptera
Scarabidae
Phyllophaga pleei



- Chenille :

Phytophage

Hexapoda
Lepidoptera



- Punaise :

Phytophage

Hexapoda
Hemiptera
Cydnidae



- Cloporte :

Crustacea
Isopoda

Détritivore



- Mouche :
Hexapoda
Diptera
Calliphoridae

Détritivore



- Droso :
Hexapoda
Diptera
Drosophilidae

Détritivore



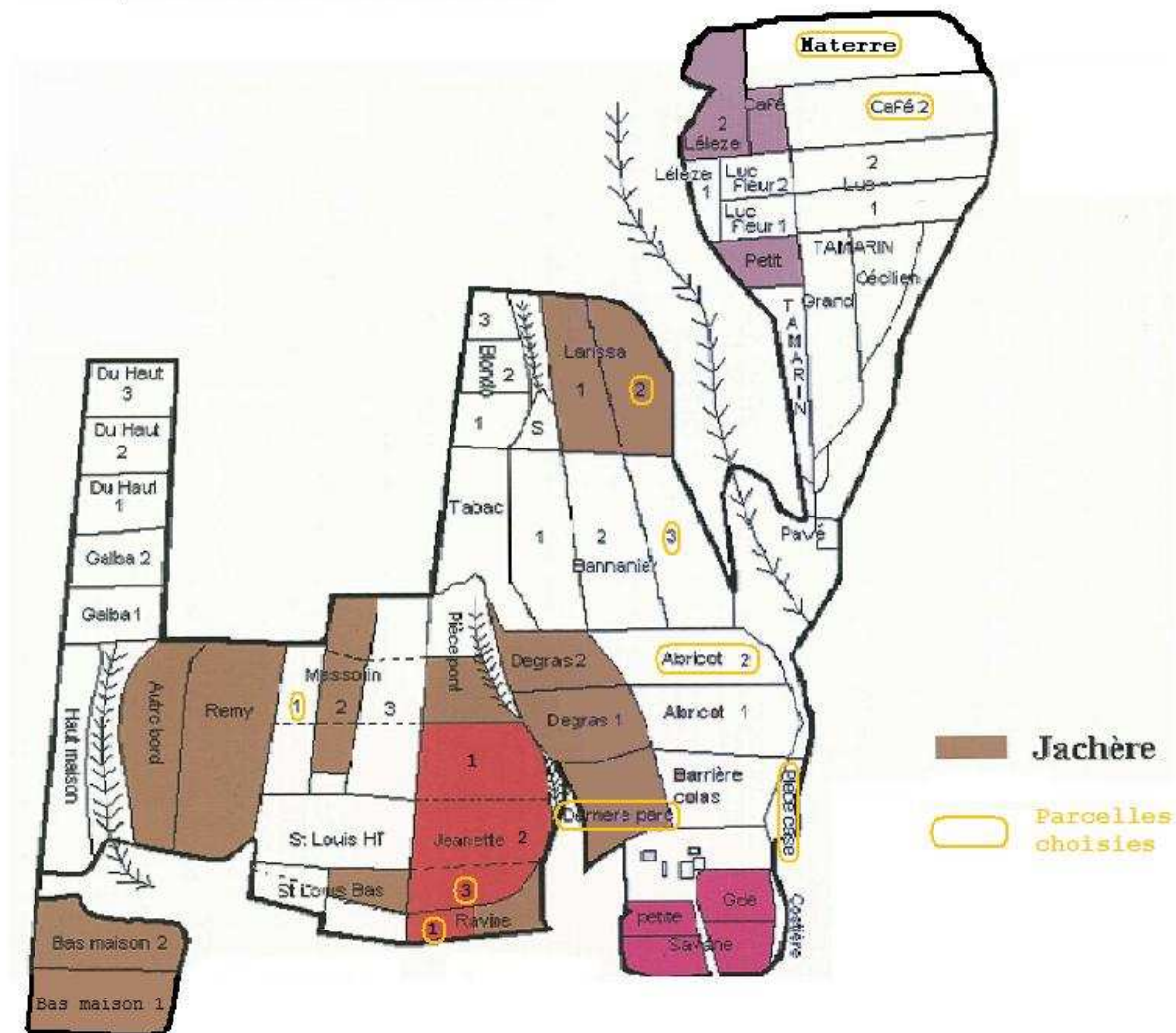
- Coccinelle :
Hexapoda
Coleoptera
Coccinellidae

Prédateur de pucerons et de cochenilles (auxiliaire)

- Hyménoptères divers :
Hexapoda
Hymenoptera

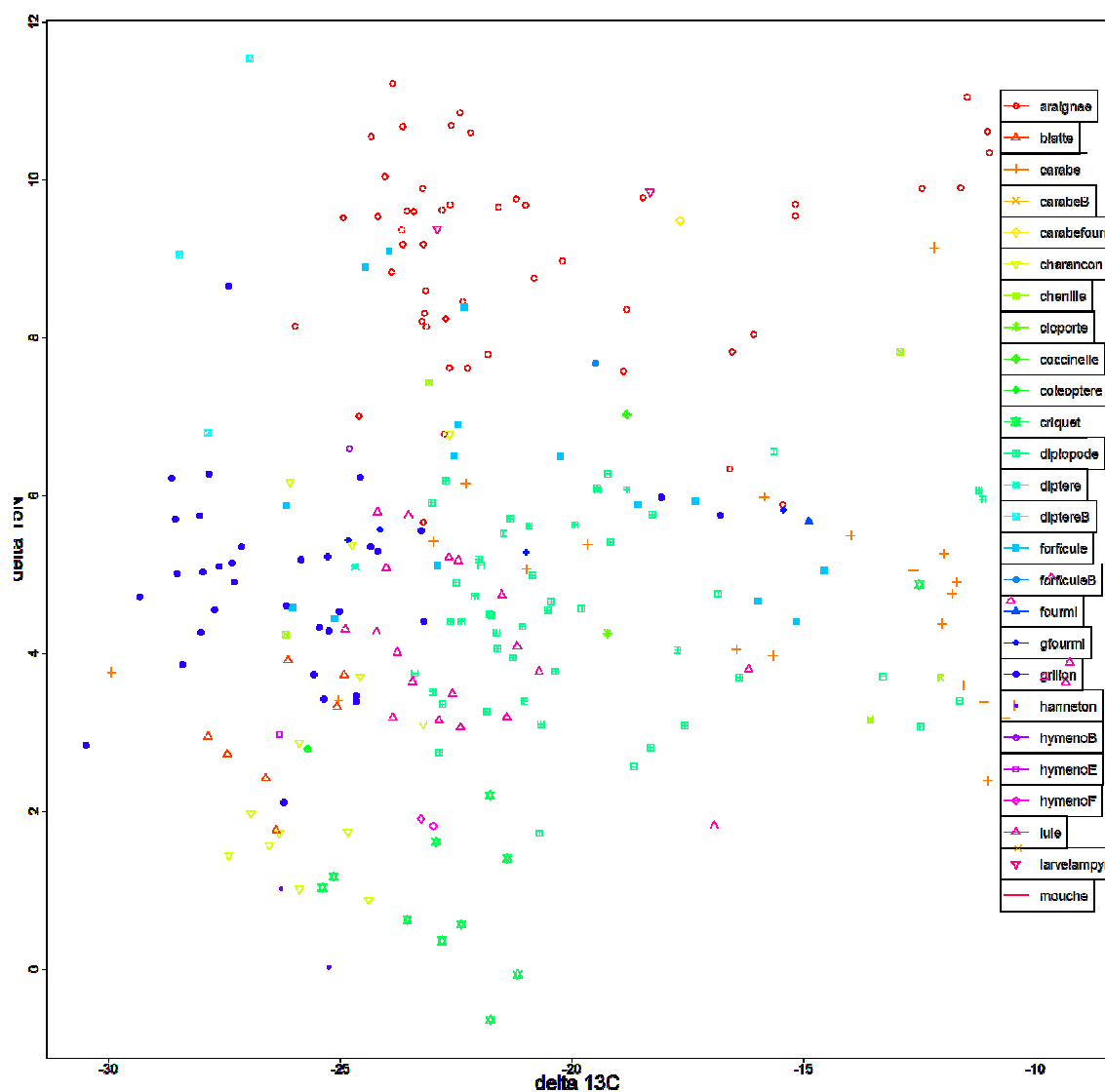
Phytophages

Annexe 4 : Parcellaire de l'habitation Macouba, où le dispositif expérimental a été mis en place.

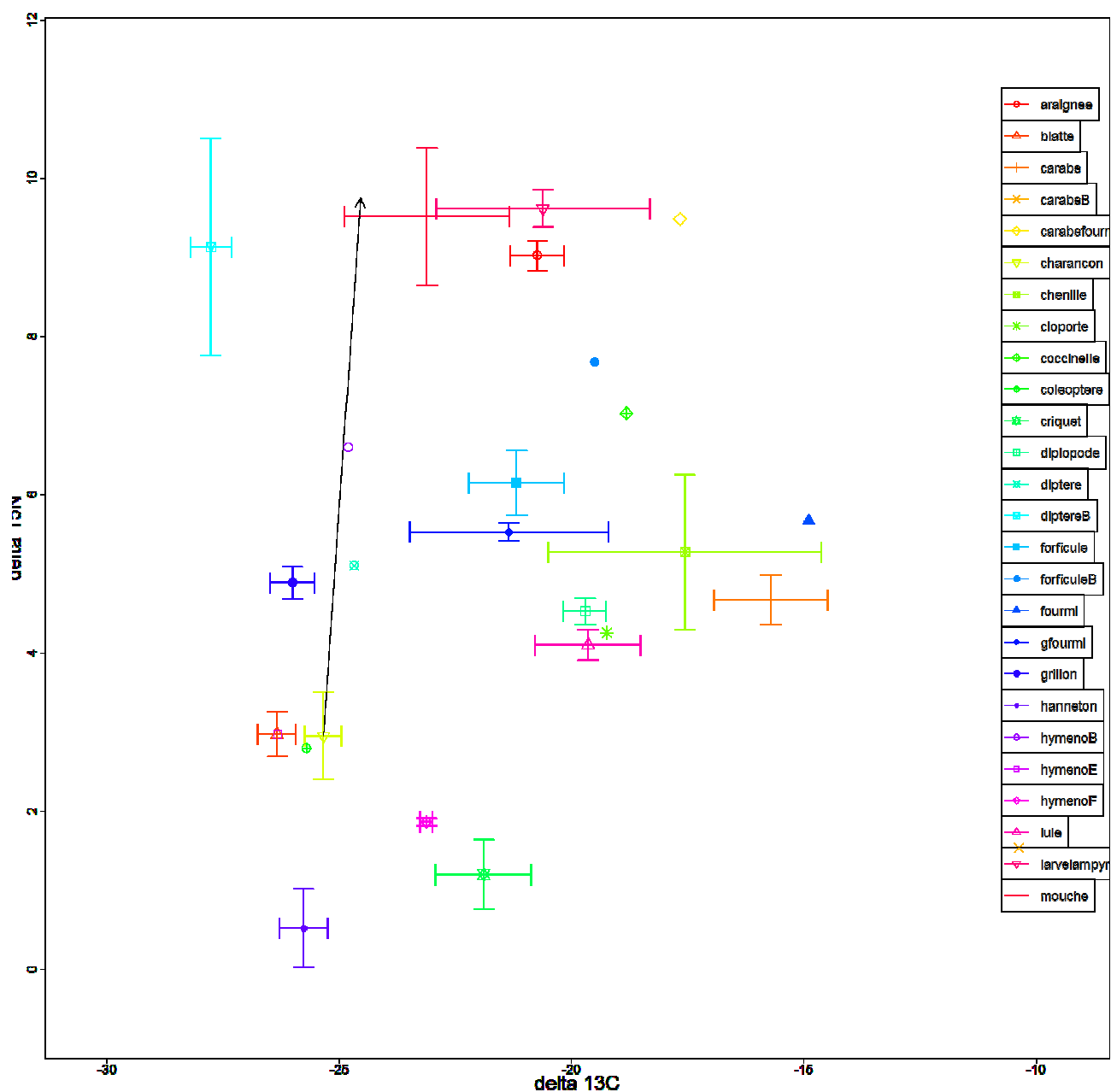


Age	Plantation	Parcelle	Nombre de pieds plantés	Surface	Dispositif	Densité théorique	Densité réelle	Matériel	Variété	Antécédent
12,3	15-janv-97	Massotin 1	1733	0,96	2,25*2 m	2222	1805	Rejet	Grande naine	Ananas
6,4	25-nov-02	Materre	2858	1,65	1,6*3,9*2,1 m	1732	1732	Vitroplant	Grande naine	Jachère 18 mois
6	01-mai-03	Pièce case	995	0,52	1,6*3,9*1,9 m	1914	1913	Vitroplant	Jaffa / MA13	Jachère
4,8	01-juil-03	Ravine	2806	1,39	1,6*3,9*2,1 m	1732	2019	Vitroplant	Jaffa	Jachère
3,9	17-mai-05	Bananier 3	5371	2,25	1,5*3,9*2 m	1852	2387	Vitroplant	Jaffa/Gal	Solarisation
2,8	15-juin-06	Café 2	4200	2,1	1,6*3,9*1,80 m 2,1	2000	2000	Vitroplant	Jaffa	Solarisation Jachère courte traitement
1,6	15-sept-07	Jeanette	1899	0,9	m*1,8*4,2*1	2020	2110	Vitroplant	Jaffa	
0,7	28-juil-08	Abricot 2	3454	1,57			2200	Vitroplant	Gal	Solarisation
0,2	Jachère (fin)	Derrière Parc								
0	Jachère (début)	Larissa 1								

Annexe 5 :



a) Représentation graphique en 2 dimensions des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ en fonction des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de tous les échantillons analysés.



b) Représentation graphique en 2 dimensions des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (exprimées en ‰) en fonction des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (en ‰), moyennes et erreurs standards pour chaque taxon.

La flèche représente une augmentation théorique de rapport 0,4 ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ (en abscisse) pour 3,4 ‰ en $\delta^{15}\text{N}$ (en ordonnées), à partir des valeurs des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de *C.sordidus*.

Annexe 6 : Résultats des diverses analyses statistiques, réalisées à l'aide du logiciel R.

1- Etude des abondances :

a) Abondance totale tous taxa confondus :

* ANOVA à un facteur pour vérifier la significativité de l'effet de l'âge sur l'abondance cumulée des taxa :

Analysis of Variance Table

Response: x

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
facage	9	14802.5	1644.7	11.144	2.110e-07 ***
Residuals	30	4427.5	147.6		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Test de Shapiro pour vérifier la normalité des résidus :

Shapiro-Wilk normality test

data: r\$residuals

W = 0.866, p-value = 0.0002252

* ANOVA à un facteur pour vérifier la significativité de l'effet de l'âge sur le nombre de taxa différents piégés sur les 10 parcelles :

Analysis of Variance Table

Response: x

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
facage	9	118.900	13.211	6.0509	8.021e-05 ***
Residuals	30	65.500	2.183		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

b) Evolution de l'abondance de chacun des taxa principaux en fonction de l'âge des parcelles :

* Araignée :

Résultat de la regression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des araignées en fonction de l'âge des parcelles : Très significatif.

Call:

```
glm(formula = a$x ~ a$age, family = poisson)
```

Deviance Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-2.3845	-1.0865	-0.4168	0.5597	3.8962

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	2.0124	0.1004	20.047	< 2e-16 ***
a\$age	-0.1750	0.0300	-5.833	5.45e-09 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

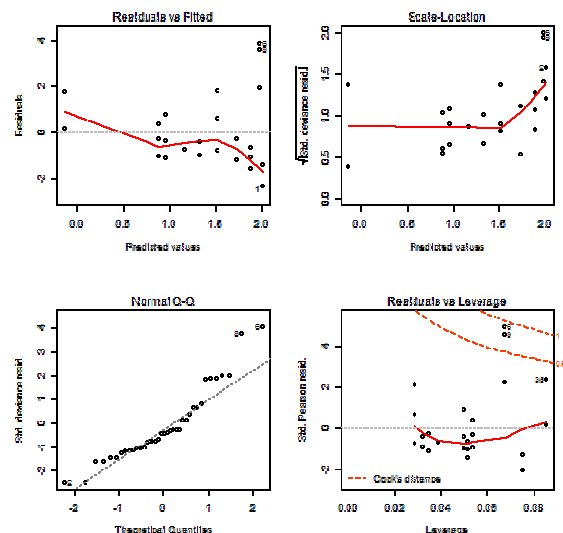
Null deviance: 123.498 on 37 degrees of freedom

Residual deviance: 79.375 on 36 degrees of freedom

AIC: 200.03

Number of Fisher Scoring iterations: 5

Diagnostic plots - GLM Poisson Abondance Araignée :



* Carabe :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des carabes en fonction de l'âge des parcelles : Très significatif.

Call:

```
glm(formula = b$x ~ b$age, family = poisson)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.3638	-1.3643	-0.3103	0.7747	4.8874

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	2.24171	0.13469	16.643	< 2e-16 ***
b\$age	-0.31409	0.05533	-5.677	1.37e-08 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

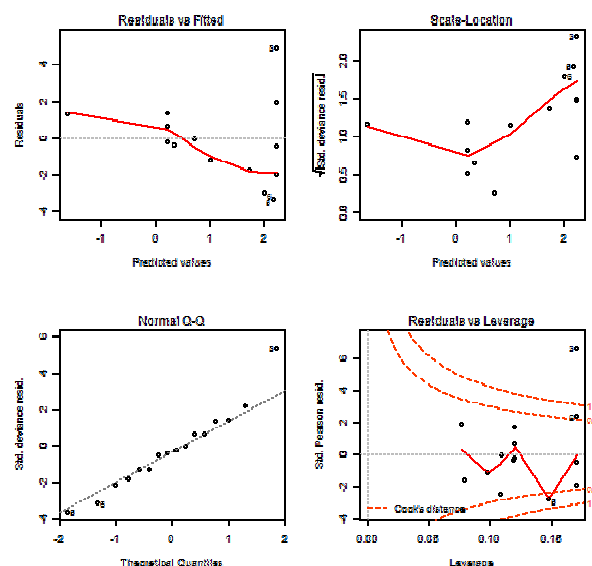
Null deviance: 110.711 on 15 degrees of freedom

Residual deviance: 62.761 on 14 degrees of freedom

AIC: 111.21

Number of Fisher Scoring iterations: 5

Diagnostic plots - GLM Poisson Abondance Carabe :



* Forficule :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des forficules en fonction de l'âge des parcelles : Significatif.

Call:

```
glm(formula = e$x ~ e$age, family = poisson)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.57598	-1.13824	-0.07952	0.50555	2.83275

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.25061	0.19470	6.423	1.33e-10 ***
e\$age	-0.18315	0.08878	-2.063	0.0391 *

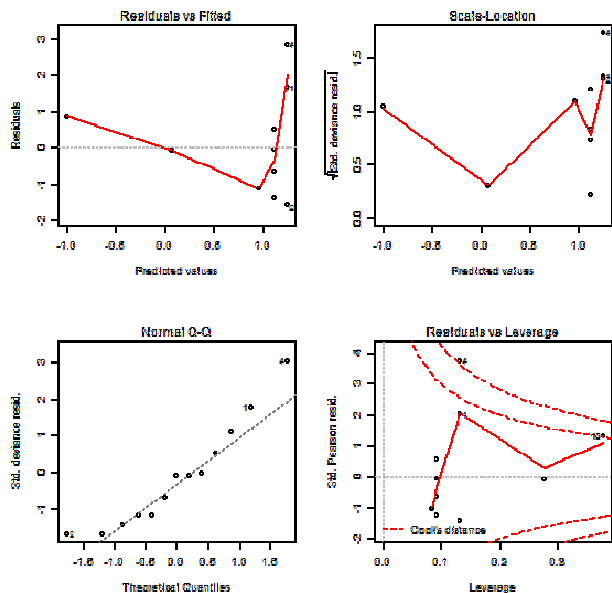
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 28.373 on 12 degrees of freedom
 Residual deviance: 21.638 on 11 degrees of freedom
 AIC: 58.474

Number of Fisher Scoring iterations: 5

Diagnostic plots - GLM Poisson Abondance Forficule :



* Grillon :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des grillons en fonction de l'âge des parcelles : Non significatif.

Call:

```
glm(formula = d$x ~ d$age, family = poisson)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.6778	-1.4410	-0.7162	0.3596	3.3552

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.31989	0.18112	7.287	3.16e-13 ***
d\$age	-0.02854	0.05315	-0.537	0.591

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 54.034 on 23 degrees of freedom
 Residual deviance: 53.744 on 22 degrees of freedom
 AIC: 125.62

Number of Fisher Scoring iterations: 5

* Criquet :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des criquets en fonction de l'âge des parcelles : Non significatif.

Call:

```
glm(formula = x ~ age, family = poisson, data = i)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.60568	-0.46522	-0.01849	0.21773	0.91423

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0.55023	0.29936	1.838	0.066 .
age	-0.04324	0.07311	-0.591	0.554

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 2.8812 on 10 degrees of freedom
Residual deviance: 2.5022 on 9 degrees of freedom
AIC: 31.949

Number of Fisher Scoring iterations: 4

* Iule :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des iules en fonction de l'âge des parcelles : Non significatif.

Call:

```
glm(formula = x ~ age, family = poisson, data = f)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.6029	-0.5710	-0.3873	0.2964	1.6006

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0.54796	0.25153	2.178	0.0294 *
age	-0.02167	0.05395	-0.402	0.6879

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 8.3821 on 17 degrees of freedom
Residual deviance: 8.2144 on 16 degrees of freedom
AIC: 53.814

Number of Fisher Scoring iterations: 4

* Diplopode :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance des diplopodes en fonction de l'âge des parcelles : Non significatif.

Call:

```
glm(formula = x ~ age, family = poisson, data = g)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.887	-1.366	-0.401	1.378	3.442

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.931701	0.088165	21.910	<2e-16 ***
age	0.005461	0.016500	0.331	0.74

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 112.06 on 39 degrees of freedom
 Residual deviance: 111.95 on 38 degrees of freedom
 AIC: 259.55

Number of Fisher Scoring iterations: 5

* *Cosmopolites sordidus* :

Résultat de la régression linéaire multiple de type Poisson, pour l'abondance de *Cosmopolites sordidus* en fonction de l'âge des parcelles : Très significatif.

Call:

```
glm(formula = nb.charancons ~ age, family = poisson, data = DatasNbCharancons)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.978	-4.193	-2.503	2.558	8.908

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	3.465904	0.074784	46.34	<2e-16 ***
age	0.136296	0.009807	13.90	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

2- Etude des résultats d'analyses de rapports isotopiques :

a) Premiers résultats généraux :

Résultats des ANOVA à 2 facteurs afin de tester les effets du taxa, de l'âge et de l'interaction entre ces deux facteurs, sur les valeurs des $\delta^{15}\text{N}$ et des $\delta^{13}\text{C}$:

* $\delta^{15}\text{N}$:

Analysis of Variance Table

Response: delta15N.corrige

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
factaxa	25	1347.05	53.88	41.9981	< 2.2e-16 ***
facage	9	48.50	5.39	4.2006	6.564e-05 ***
factaxa:facage	55	147.99	2.69	2.0972	0.0001716 ***
Residuals	166	212.97	1.28		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Vérification de la normalité des résidus, à l'aide du test de Shapiro :

Shapiro-Wilk normality test

data: r\$residuals

W = 0.9811, p-value = 0.001767

(Nous avons également représenté les résidus, qui semblent bien être distribués selon une loi normale).

* $\delta^{13}\text{C}$:

Analysis of Variance Table

Response: delta13C.corrige

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
factaxa	25	2521.35	100.85	17.3453	< 2.2e-16 ***
facage	9	1804.50	200.50	34.4827	< 2.2e-16 ***
factaxa:facage	55	800.50	14.55	2.5031	3.891e-06 ***
Residuals	166	965.21	5.81		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Vérification de la normalité des résidus, à l'aide du test de Shapiro :

Shapiro-Wilk normality test

data: r\$residuals

W = 0.7988, p-value < 2.2e-16

(Nous avons également représenté les résidus, qui semblent bien être distribués selon une loi normale).

b) Etude de l'évolution du delta 15N des taxa les plus représentés en fonction du logarithme décimal du nombre de charançons dans les parcelles correspondantes :

i) Araignée :

Call:

```
lm(formula = x ~ nb.charancons, data = MeanDelta15NAraigneeNbCharancons)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.89338	-0.22818	0.05142	0.36980	0.65845

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	10.7313	0.5328	20.141	3.85e-08 ***
nb.charancons	-0.4123	0.1215	-3.392	0.00947 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.545 on 8 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5899, Adjusted R-squared: 0.5387

F-statistic: 11.51 on 1 and 8 DF, p-value: 0.009466

ii) Forficule :

Call:

```
lm(formula = x ~ nb.charancons, data = MeanDelta15NForfifNbCharancons)
```

Residuals:

1	2	3	4	5
-0.22347	0.14903	1.62583	-1.53862	-0.01277

Coefficients:

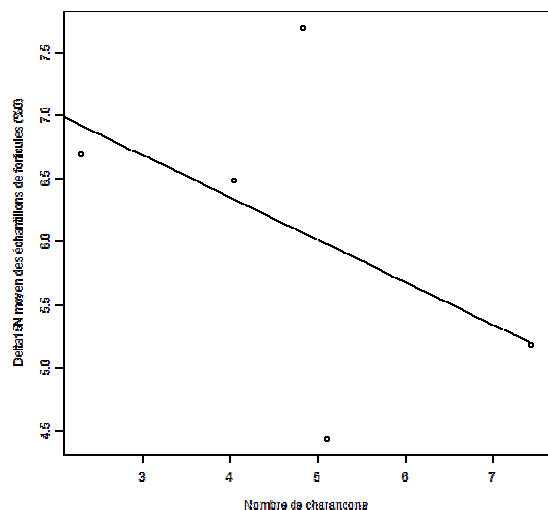
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	7.6951	1.7615	4.369	0.0222 *
nb.charancons	-0.3359	0.3505	-0.958	0.4086

Residual standard error: 1.302 on 3 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.2344, Adjusted R-squared: -0.0208

F-statistic: 0.9185 on 1 and 3 DF, p-value: 0.4086

Delta15N forficule en fonction du nombre de charançons relevés en 3 semaines



iii) Carabe :

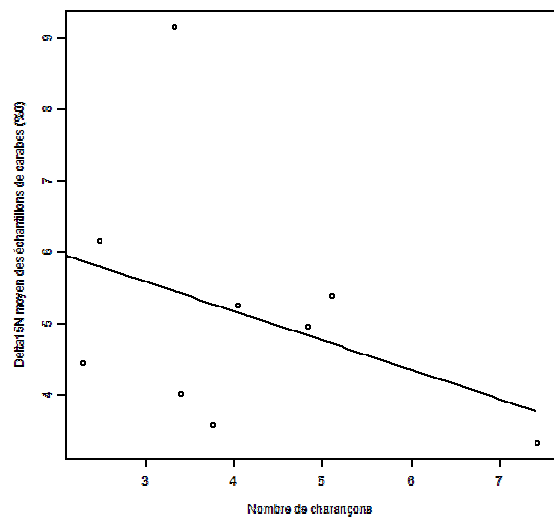
Call:
lm(formula = x ~ nb.charancons, data =
MeanDelta15NCarabefNbCharancons)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-1.67820 -1.40423 0.09051 0.35770 3.69542

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 6.8158 1.7035 4.001 0.00518 **
nb.charancons -0.4103 0.3928 -1.044 0.33099

Residual standard error: 1.741 on 7 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.1348,
Adjusted R-squared: 0.01124
F-statistic: 1.091 on 1 and 7 DF, p-value: 0.331

Delta15N carabe en fonction du nombre de charançons relevés en 3 semaines



iv) Grillon :

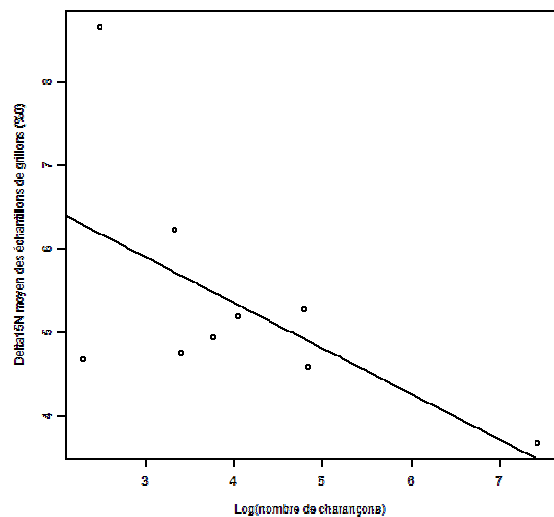
Call:
lm(formula = x ~ nb.charancons, data =
MeanDelta15NGrillonfNbCharancons)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-1.6120 -0.5445 -0.1400 0.3505 2.4770

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 7.5420 1.2000 6.285 0.00041 ***
nb.charancons -0.5469 0.2793 -1.958 0.09109 .

Residual standard error: 1.22 on 7 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.3539, Adjusted R-squared: 0.2616
F-statistic: 3.834 on 1 and 7 DF, p-value: 0.09109

Delta15N grillon en fonction du log du nombre de charançons relevés en 3 semaines



v) Iule :

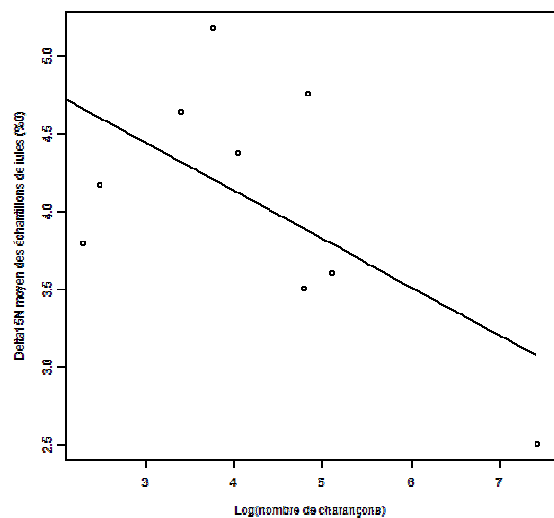
Call:
lm(formula = x ~ nb.charancons, data =
MeanDelta15NIulefNbCharancons)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.8621 -0.4325 -0.1888 0.3195 0.9712

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 5.3761 0.7021 7.658 0.000120 ***
nb.charancons -0.3099 0.1565 -1.980 0.088218 .

Residual standard error: 0.6888 on 7 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.3589, Adjusted R-squared: 0.2674
F-statistic: 3.919 on 1 and 7 DF, p-value: 0.08822

Delta15N iule en fonction du nombre de charançons relevés en 3 semaines



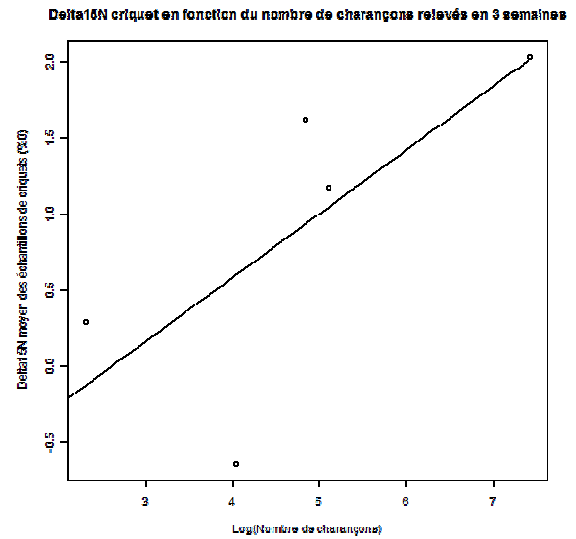
vi) Criquet :

Call:
lm(formula = x ~ nb.charancons, data =
MeanDelta15NCriquetfNbCharancons)

Residuals:
1 2 3 4 5
0.41683 -1.24333 0.68496 0.12789 0.01366

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.0899 1.1602 -0.939 0.417
nb.charancons 0.4187 0.2309 1.814 0.167

Residual standard error: 0.8574 on 3 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.523, Adjusted R-squared: 0.364
F-statistic: 3.289 on 1 and 3 DF, p-value: 0.1674



vii) Diplopede :

Call:
lm(formula = x ~ nb.charancons, data =
MeanDelta15NDiplopedefNbCharancons)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.7482 -0.3474 -0.0961 0.3998 1.0156

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 5.0029 0.6144 8.143 3.84e-05 ***
nb.charancons -0.1147 0.1401 -0.819 0.437

Residual standard error: 0.6284 on 8 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.0773, Adjusted R-squared: -0.03803
F-statistic: 0.6702 on 1 and 8 DF, p-value: 0.4367

